ஒளியியலும் நிறமாலையியலும்

செயராம் (இரா)

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—342

ஒளியியலும் நிறமாலையியலும்

(முதற் பகுதி)

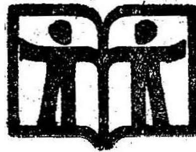
(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்படி
வெளியிடப்படுகிறது)

அன்பளிப்பு
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்
சென்னை.

ஆசிரியர்

இரா. செயராம், எம்.எஸ்ஸி.,
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை.





தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—July, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 342

OPTICS AND SPECTROSCOPY—Part I

R. JAYARAM

Price Rs. 8 - 80

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.'

Printed by
ELANGOVAN PRINTERS,
23, Muthu Mudali Street,
Royapettah, Madras-14.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி-உள்ளாட்சித்துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பன்னிரண்டாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி. ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.) 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்றுவருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக் கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'ஒளியியலும் நிறமாலையியலும்' (முதற் பகுதி) என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 342ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 377 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை. ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனங்கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

முதற் பகுதி

வடிவியல் ஒளியியல்

முதற் பகுதி

வடிவியல் ஒளியியல்

1. ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவல்

1.1. நெடுங்காலமாக மனிதனுக்கு, ஒளி ஒரு புரியாத புதிராகவும், அதன் தன்மைகளுக்கான உண்மைகள் தெரியாமலும் இருந்து வந்தன. எனவே, இயற்பியலில் 'ஒளியியல்' என்னும் இப் பிரிவு 'இருள்மிக்கது' என்றே சொல்லப்பட்டது. ஆனால், இன்று ஒளியானது ஒருவகை ஆற்றல் என்பதும், அது 'தன்-ஒளிபடைத்த' (Self-luminous) பொருள்களிலிருந்து வெளிவிடப்படுகின்றது என்பதும் தெளிவாகிவிட்டது.

மனிதனுக்குள்ள எல்லாப் புலன்களிலும் கட்புலன் மிக முக்கியமானது. ஒளியானது கண்ணினுள் சென்று விழித்திரையைக் கிளர்ச்சியுறச் செய்வதனாலேயே கட்புலன் உணர்வு ஏற்படுகின்றது. சூரியன் போன்று ஒளியைத் தானாக ஒளிவிடும் தன்-ஒளி படைத்த ஒளிமூலங்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் பொருள்களின்மீது பட்டுச் சிதறுகின்றன. சிதறும் ஒளிக்கதிர்கள் மீண்டும் கண்ணை வந்து அடைவதனாலேயே பொருள்களைப் பார்க்க முடிகின்றது. தன்-ஒளி படைத்த பொருள்களிலிருந்து ஒளியைப் பெறுவதனால் மட்டுமே கண்ணுக்குப் புலனாகும் பொருள்கள் 'தன்-ஒளியில்லாப் பொருள்கள்' (Non-luminous objects) எனப்படும். தன்-ஒளி படைத்த பொருளொன்று வெளிவிடும் ஒளியால் அது கண்ணுக்குப் புலனாவதுடன் அதைச் சுற்றியுள்ள தன்-ஒளியில்லாப் பொருள்களையும் பார்க்க இயலுமாறு செய்கின்றது.

1.2. ஒளிபுகும் பொருள்களும் ஒளிபுகாப் பொருள்களும்

ஒளி எப் பொருளின் வழியாகப் புகுந்து செல்லுமோ அப் பொருள் ஒளி ஊடகம் (light medium) எனப்படும். ஒரு பொருளின் வழியாக ஒளி புகுந்து செல்லுவதுடன் அதன்மூலம் பொருள்களையும் பார்க்க இயலுமேயானால், அது ஒளிபுகும் ஊடகம் (transparent medium) ...

நீர், வைரம் போன்றவை ஒளிபுகு ஊடகங்கள் எனப்படும். ஒளியைத் தன் வழியே புகவிடாத கட்டை, கல், உலோகத் தகடுகள் போன்றவை ஒளிபுகாப் (opaque) பொருள்கள் எனப் படும்.

ஒளிபுகும் தன்மையோ அல்லது ஒளிபுகாத் தன்மையோ பொருளின் தடிமத்தைச் சார்ந்து அமைகின்றது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு தடிமம் கொண்ட கண்ணாடித் தகடு ஒளிபுகும் பொருளாக அமையலாம். ஆனால், அதே கண்ணாடியின் தடிமம் மிக அதிக மானால் அதுவே ஒளிபுகாப் பொருளாகவும் செயல்படும். இதைப் போலவே சில அடிகள் தடிமம் கொண்ட நீரடுக்கு ஒளியைப் புக விட, ஆழமான நீர்நிலை ஒளிபுகாப் பொருளாக அமைகின்றது. அதன் அடியிலுள்ள பொருள்கள் கண்ணுக்குத் தெரிவது இல்லை. உலோகத் தகடு ஓர் ஒளிபுகாப் பொருள். ஆனால், அந்த உலோ கத் தகடு மிக மெல்லிய படலமாக இருக்குமானால் ஒளிபுகும் பொருளாக அமைகின்றது.

எண்ணெய்க் காகிதமும் தேய்த்த கண்ணாடியும் தம் வழியே ஒளியைப் புகவிடுகின்றன. ஆனால், அவற்றின்மூலம் பார்க்கப் படும் பொருள்கள் தெளிவாகத் தெரிவது இல்லை. இத்தகைய பொருள்கள் ஒளிகசியும் பொருள்கள் (translucent objects) எனப்படும்.

1.3. ஒளி – ஒருவகை ஆற்றல்

ஒரு பொருளைச் சூடாக்கினால் வெப்பக் கதிர்கள் வெளி வரு கின்றன. வெப்பநிலை மேலும் சிறிது உயர்த்தப்பட்டால் வெப்பக் கதிர்களுடன் ஒளிக்கதிர்களும் வெளிவிடப்படுகின்றன. எனவே, வெப்பமும் ஒளியும் ஒரே தன்மையை உடையன என்பது உணரப் படும். வெப்பத்தை ஒருவகை ஆற்றல் என்று கூறுவதால் இங்கு ஒளியும் ஒருவகை ஆற்றல் என்றே முடிவு செய்யலாம். பெரும் பாலான இயற்கை ஒளிக்குக் காரணமான சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்பநிலை 6000°A ஆகும். எனவே, உயர்வெப்பமடைந்த பொருள்கள் ஒளியை வெளிவிடுகின்றன எனும் கொள்கைகளுக்குச் சூரியனே சான்றாக அமைகின்றது.

1.4. ஒளியியல் பிரிவுகள்

ஒளியின் நிகழ்வுகளைக் குறித்துப் படிக்கும் இயற்பியலின் பிரிவுக்கு 'ஒளியியல்' என்று பெயர். ஒளியியலானது, வடிவியல்-ஒளியியல் (Geometrical optics), இயற்பியல் ஒளியியல் (Physical

optics), குவான்டம் ஒளியியல் (Quantum optics) என்று மூன்று பிரிவுகளை உடையது. வடிவியல் ஒளியியல் என்பது ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவலை அடிப்படையாகக் கொண்டு, எதிரொளிப்பு (reflection), ஒளிவிலகல் (refraction) முழு அக எதிரொளிப்பு (total internal reflection) போன்ற நிகழ்வுகளை விளக்கும் பகுதியாகும். இப் பகுதியில் ஒளியின் மற்றப் பண்புகளைப்பற்றி எவ்விதமான கருத்தும் கொள்வதில்லை.

இயற்பியல் ஒளியியல் (Physical optics) என்பது ஒளி அலை வடிவத்தில் பரவுகின்றது என்பதை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஒளி பரவல், எதிரொளித்தல், ஒளி விலகல், ஒளி குறுக்கீடு (interference), விளிம்பு விளைவு (Diffraction), தளவிளைவு (Polarisation) போன்றவற்றை விளக்கும் பகுதியாகும். ஒளியின் பண்புகள் மிக விரிவான முறையில் இப் பகுதியில் ஆராயப் படுகின்றன. குவான்டம் ஒளியியல் (Quantum optics) என்பது பொருள்களின் மிகச் சிறிய பகுதியான அணுவுடன் ஒளி மோதும் போது ஏற்படும் நிகழ்வுகளை ஆராய்ந்து விளக்கும் பகுதியாகும்.

1.5. வடிவியல் ஒளியியல்

ஆடிகள், வில்லைகள், முப்பட்டகங்கள் ஆகியவை வடிவங்களை ஏற்படுத்தும் முறைகளைப்பற்றிக் கூறுவது வடிவியல் ஒளியியல். வடிவியல் ஒளியியலில் மேற்கொள்ளப்படும் முக்கியமான தற்கோள்கள் :

1. ஒருபடித்தான ஊடகத்தில் (homogeneous medium) ஒளி நேர்கோட்டில் பரவுகின்றது.

2. ஒளிக்கதிர்கள் தனித்துவம் (mutual independence) கொண்டவை ; அவை ஒன்றையொன்று சந்தித்த பின்னரும் எவ்வித மாற்றமும் இல்லாமல் அவ்வவற்றின் பாதையில் செல்ல இயலும்.

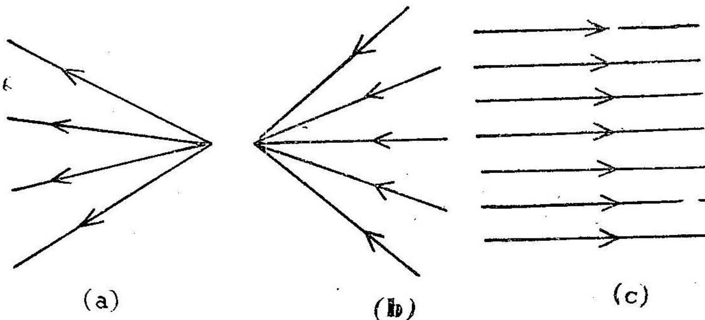
3. ஒளிக்கதிர்கள் எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் ஆகிய விதிகளுக்குட்பட்டுப் பரவுகின்றன.

4. ஃபெர்மாட்டின் குறைந்த காலத் தத்துவத்தின் (Fermat's Principle of Least time) அடிப்படையில், இரண்டு புள்ளி களுக்கிடையில் ஒளி பரவுகின்றது. இந்தத் தத்துவத்தின்படி இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே குறைந்த காலத்தில் ஒளி கடக்கக்கூடிய பாதையே 'ஒளிபாயும் பாதையாகும்'

இந்த முக்கியமான தற்கோள்களைக் கொண்டு ஓர் ஒளியியல் தொகுப்பில் கதிர்கள் செல்லும் பாதைகளைக் காணவும், பொருள்களின் படிவங்கள் உண்டாதலைத் தீர்மானிக்கவும் இயலும். எனவே, இந்த முறையில் ஒளியியலைப் படிப்பதன்மூலம் நல்ல ஒளியியல் கருவிகளை அமைக்க இயலும். இது ஒரு மிகச் சிறந்த நன்மையாகும்.

1.6. ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவல்

ஒருபடித்தானதோர் ஒளிபுகு ஊடகத்திலுள்ள இரு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒளி நேர்கோடுகளில் பரவுகின்றது. இவ்வாறான நேர்கோடுகளில் ஒன்று ஒளிக்கதிர் (Light ray) எனப்படுகின்றது. ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் இருந்து வரும் பல ஒளிக்கதிர்கள் கண்ணில் படுவதனாலேயே அப் புள்ளியைப் பார்க்கமுடிகின்றது. அப் புள்ளியில் இருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கதிர்கள், கூம்பு ஒளிக்கற்றை (Pencil of light) என்று கூறப்படும். ஒளிமிக்கதொரு பொருளின் எல்லாப் பாகங்களில் இருந்துவரும் ஒளிக்கதிர்கள் 'ஒளிக்கற்றை' (Beam of light) எனப்படும். இதிலிருந்து ஒளிமிக்க பொருளின் ஒவ்வொரு புள்ளியும் பல கூம்பு ஒளிக்கற்றைகளைக் (Pencils of light) கொடுக்கின்றது என்பது தெளிவு. ஆனால், கூம்பு ஒளிக் கற்றை (Pencil of light), ஒளிக்கற்றை (Beam of light) இவை இரண்டும் வழக்கத்தில் ஒரே பொருளைக் கொடுக்கும்படியாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.



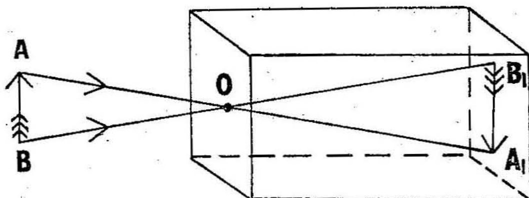
படம் 1.1. (a) விரிகற்றை (b) குவிகற்றை (c) இணைகற்றை

படம் 1.1. (a)-ல் உள்ளது போன்று ஒரு புள்ளியில் இருந்து விரிந்து செல்லும் கதிர்கள் விரிகற்றை (Divergent beam) என்றும், 1.1. (b)-ல் உள்ளது போன்று ஒரு புள்ளியில் குவியும் கதிர்கள் குவிகற்றை (Convergent beam) என்றும் கூறப்படும்.

படம் 1.1.(c)-ல் உள்ளது போன்று ஒளிக்கதிர்கள் குவியும் புள்ளியோ விரிந்து செல்லும் புள்ளியோ முடிவிலாத் (infinite) தொலைவில் இருக்குமேயானல் இணைகற்றை (Paralell beam) என்று சொல்லப்படும்.

1.7. ஊசித்துளைப் படப்பெட்டி (Pin-hole Camera)

ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவல் கோட்பாடு படம் 1.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஊசித்துளைப் படப்பெட்டி செயல்படும் முறையினல் நன்கு தெளிவாக்கப்படுகின்றது. நுண்துளைப் படப்



படம் 1.2. ஊசித்துளைப் படப்பெட்டி

பெட்டி, அதன் ஒரு பக்கத்தில் உள்ள நுண்துளை O-வின் வழியாக மட்டும் ஒளி உள்ளே செல்லும் அமைப்பைக்கொண்ட கனச் செவ்வக உள்ளீடற்ற பெட்டியாகும். பெட்டியின் உட்பாகம் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. துளைக்கு எதிரில் உள்ள பக்கத்தில் ஒரு தேய்த்த கண்ணுடியினலான திரை உள்ளது. துளையின் முன்னல் ஒளியூட்டப்பட்ட பொருள் AB வைக்கப்பட்டுள்ளது. பொருள் AB-யை ஒத்த ஒரு தலைகீழான படிவம் A_1B_1 தேய்த்த கண்ணுடித் திரையில் தெரிகின்றது. ஒளியூட்டப்பட்ட பொருளி லிருந்து ஒளிக்கதிர்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகின்றன. A-என்ற புள்ளியை மட்டும் கருதினல், அதிலிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்கள் O-வின் வழியாக உள்ளே சென்று A_1 என்னும் புள்ளியைத் திரையின்மீது உண்டாக்குகின்றன. இதே போல் A-க்கும், B-க்கும் இடைப்பட்ட ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்தும் வரும் ஒளிக்கதிர்கள் O-வின் வழியாகச் சென்று A_1-க்கு மேல் அவற்றை ஒத்த புள்ளிகளை உண்டாக்குவதனல் படிவம் A_1B_1 திரையில் உண்டாகின்றது.

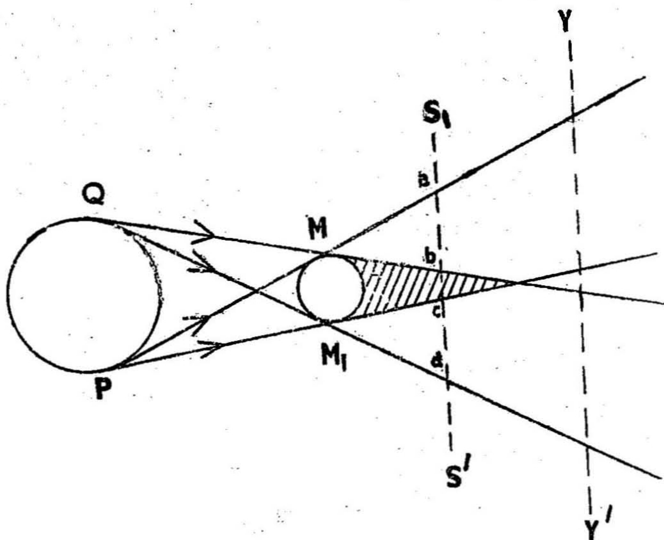
மற்ருெரு துளையை O-விற்கு அருகிலேயே போட்டால் அதன் மூலம் செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் A_1B_1 போன்ற மற்ருெரு படிவத்தை உண்டாக்குகின்றன. ஆனல், இரண்டு படிவங்களும் ஒன்றன்மேல் ஒன்ருக விழுவதனல் தெளிவற்றவொரு படிவம் கிடைக்கின்றது. இவ்வாறு அதிகத் துளைகள் அருகருகே போடப்

பட்டால், ஒவ்வொன்றிற்கும் ஒரு படிவம் உண்டாகும். ஆனால், அவையெல்லாம் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக அமைவதனால் திரையின் மேல் படிவத்திற்குப் பதிலாக ஒரு பரவலான ஒளியூட்டம் உண்டாகின்றது.

பொருளிலிருந்து ஊசித்துளைக்கு உள்ள தூரம் u என்றும், படிவத்திலிருந்து ஊசித்துளைக்கு உள்ள தூரம் v என்றும், பொருளின் அளவும், படிவத்தின் அளவும் முறையே AB, A_1B_1 எனவும் கொண்டால், $\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{v}{u}$ ஆகும். AA_1, BB_1 போன்ற நேர்கோடுகளில் ஒளி பரவினால் மட்டுமே இச் சமன்பாடு உண்மையாகும். எனவே, v ஐ அதிகரித்தோ அல்லது u-வைக் குறைத்தோ பொருள்களுக்கான ஒரு பெரிய படிவத்தைத் திரையின்மீது விழும்படி செய்யலாம். தேய்த்த கண்ணாடித் திரைக்குப் பதிலாக ஒரு ஒளிப்படத் தகடு (Photographic plate) வைக்கப்பட்டு நீண்ட நேரம் துளைவழியே ஒளி செல்லுமாறு செய்தால், பொருளின் நிழற்படம் கிடைக்கும்.

1.8. அக, புற நிழல்கள்

பொருளுக்கு ஒரு பக்கத்தில் புள்ளி ஒளிமூலம் ஒன்றும், மறு பக்கத்தில் ஒரு திரையும் வைக்கப்பட்டால், சீரான கருமை



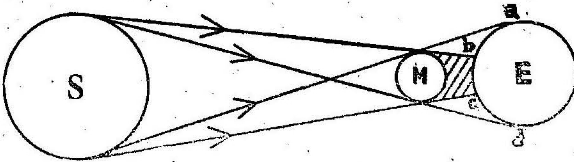
படம் 1.3.

நிறம்கொண்ட பொருளின் நிழல் திரையின்மேல் விழுகின்றது படம் **1.3**-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற நீண்டதொரு ஒளிமூலம் PQ ஆல், MM_1 என்னும் பொருளின் நிழல் திரை S,S'-ன் மேல் உண்டாவதாகக் கொள்வோம். ஒளிமூலம் PQ-வின் மேல் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு நிழலை உண்டாக்கும்.

இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் எல்லா நிழல்களும் மேற்பொருந்துகின்றன (overlap). உதாரணமாக ஒளிமூலத்தின் ஒரு விளிம்பில் உள்ள P-யானது திரையின்மேல் ஏற்படுத்தும் நிழல் ac, மற்ற விளிம்பு Q ஏற்படுத்தும் நிழல் bd ஆகிய இரண்டு நிழல்களும் bc பகுதியில் மேற்பொருந்துகின்றன. நிழல் ad-யின் மையத்தில் உள்ள bc என்ற பாகம், அகநிழல் (Umbra) எனப்படும். இப்பொழுது b-யிலிருந்து மேலாக a-யுக்கோ அல்லது c-யிலிருந்து கீழாக d-க்கோ சென்ருல் ஒரு நீண்ட ஒளிமூலமான PQ-வின் அதிகப்படியான புள்ளிகளிலிருந்து ஒளி திரையை அடைகின்றது. எனவே, நிழலின் கருமை குறைந்துகொண்டே வருகின்றது. ஓரளவு இருளடைந்துள்ள ba, cd என்னும் பகுதிகள் புறநிழல் (Penumbra) எனப்படுகின்றன. திரை YY' நிலைக்கு மாற்றப்பட்டால் புறநிழல் மட்டுமே திரையின்மீது உண்டாகும்.

1.9. கிரகணங்கள்

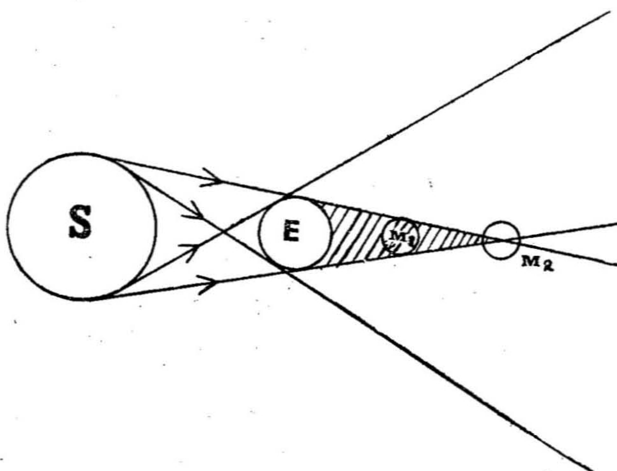
நிழல்கள் ஏற்படும் தன்மையைக்கொண்ட இயற்கை நிகழ்வு, சூரிய அல்லது சந்திர கிரகணம் ஏற்படுதலாகும். சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையே சந்திரன் வரும்பொழுது ஏற்படும் சந்திரனுடைய நிழல் பூமியின்மேல் விழுவதால் சூரிய கிரகணம் ஏற்படும்.



படம் 1.4. சூரிய கிரகணம்

படம் 1.4-ல் உள்ளவாறு பூமியின்மேல் bc பகுதியில் உண்டாகும் அகநிழலில் அமையும் பரப்பிற்கு முழுக் கிரகணம் ஏற்படும். புறநிழலில் உள்ள பரப்புகளான ab அல்லது cd இவற்றுக்குட்பட்ட பரப்புகளில் பகுதிக் கிரகணம் (partial eclipse) உண்டாகும். சந்திரனுக்கும் பூமிக்கும் இடைப்பட்ட தூரம்

3,53,600கி.மீ. முதல் 4,13,200 கி.மீ. வரை வேறுபடுகின்றது. சந்திரனின் அகநிழல் 3,71,200 கி.மீ. வரை நீண்டுள்ளது. எனவே, சந்திரனின் அகநிழல் சில நேரங்களில் பூமியின் பரப்பை அடைவதில்லை. இந்த மாதிரியான நேரங்களில் சந்திரனின் மையப் பகுதி மட்டுமே மறைக்கப்படுவதால் வளைவடிவக் (Annular) கிரகணம் ஏற்படுகின்றது.



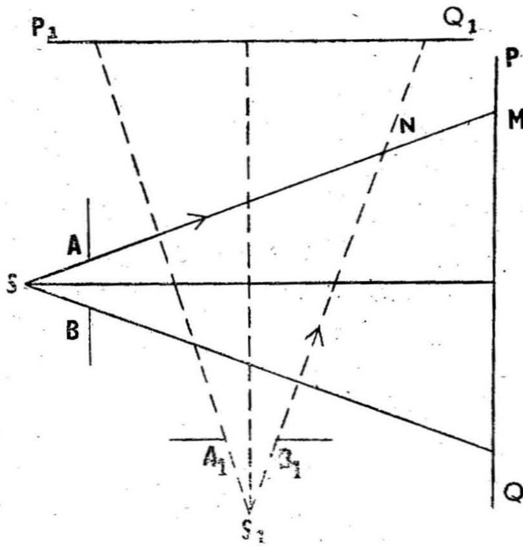
படம் *1.5.* சந்திர கிரகணம்

படம் 1.5-ல் காட்டியுள்ளபடி, பூமியானது சூரியனுக்கும் சந்திரனுக்கும் இடையில் வரும்பொழுது பூமியின் அகநிழலில் சந்திரன் இருந்தால் சந்திர கிரகணம் (Lunar eclipse) ஏற்படுகின்றது. சந்திரன் M_1 போன்ற நிலையில் இருந்தால் முழுச் சந்திர கிரகணமும், M_2 போன்று ஒரு பகுதி மட்டுமே அக நிழலில் இருந்தால் பகுதிக் கிரகணமும் ஏற்படுகின்றது.

1.10. ஒளிக்கதிர்களின் நேர்–எதிர்ப்பண்பும், தனித்துவமும்

ஓர் ஒளிக்கதிர் வரும் பாதையில் எத்தனை எதிரொளிப்புகளுக்கும், ஒளி விலகல்களுக்கும் உள்ளான போதிலும், அதன் பாதை திருப்பப்பட்டால் முன்பு வந்த சரியான பாதையிலேயே திரும்பிச் செல்கின்றது. இதுதான் ஒளிக்கதிரின் நேர்-எதிர்ப் பண்பு (reversibility) எனப்படுகின்றது. ஒளிக்கதிர்கள் தனித்துவத்தைக் கொண்டவையாக உள்ளன. இதனை எடுத்துக் காட்ட இரண்டு புள்ளி ஒளிமூலங்கள் S, S_1 (படம் 1.6.) இவற்றிலிருந்து ஒளிக்கதிர்கள் புறப்பட்டு, முறையே பிளவுகள் AB, A_1B_1

மூலம் வெளியேறி, திரைகள் PQ, P_1Q_1 மேல் விழுவதாகக் கொள்வோம். PQ-வின் மேல் இருக்கும் M-எனும் புள்ளி, $SANM$ என்னும் ஒளிக்கதிராலேயே ஒளியூட்டப்படுகின்றது. ஒளிக்கதிர் S_1N ஆல் அது ஒளியூட்டப் பெறுவதில்லை. தவிரவும் ஒளிமூலம் S_1-ல் இருந்துவரும் S_1N போன்ற ஒளிக்கதிர்களால் M-ன் ஒளியூட்டம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. இதனை S, S_1 என்ற ஒளி



படம் 1.6.

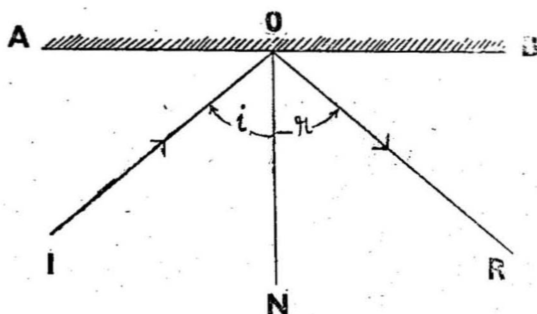
மூலங்கள் வெவ்வேறு நிறக்கதிர்களை வெளியிடுமாறு செய்வதன் மூலம் காணலாம். N-என்னும் புள்ளியானது இரண்டு மூலங்களில் இருந்துவரும் கதிர்கள் சந்திக்கும் புள்ளியானாலும், கதிர்களுக் கிடையே எவ்விதமான மாற்றமோ, மோதலோ N-ல் ஏற்படாது. எனவே, ஒரே புள்ளியின் வழியாக ஒளிக்கதிர்கள் ஒரே நேரத்தில் வெவ்வேறு திசைகளில் எவ்விதமான மாற்றமும் அடையாமல் செல்ல முடிகின்றது. இந்தப் பண்புதான் ஒளிக்கதிர்களின் பரிமாற்றுத் தனித்துவ விதி (Law of Mutual Independence) எனப்படும்.

2. ஒளி எதிரொளிப்பு

அ. சமதளப் பரப்பில் எதிரொளிப்பு

2.1. ஒளி எதிரொளிப்பு

தன்-ஒளியிலாப் பொருளை (Non-luminous object) அதன் மீது படும் ஒளியினால் பார்க்க முடிகின்றது. இதிலிருந்து பொருளின்மீது படும் ஒளி அதே ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்பப் படுகின்றது என்பது தெளிவாகின்றது. அதாவது படும் ஒளியைப் பொருள் எதிரொளிக்கிறது. பொருளின் பரப்புப் பளபளப்பானதாக இருந்தால் ஒளியானது சில விதிகளுக்குட்பட்டுக் குறிப்பிட்ட திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது.



படம் 2.1. ஒளி எதிரொளிப்பு

படம் 2.1-ல், எதிரொளிக்கும் பரப்பு AB-ன்மீது படும் கதிர் IO, படுகதிர் என்றும், பரப்பினால் அதே ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்பப்படும் கதிர் OR, எதிரொளிப்புக் கதிர் என்றும் கூறப் படும். படுபுள்ளியில் வரையப்படும் குத்துக்கோடு ON, எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கான நேர்குத்துக் கோடு எனப்படும்.

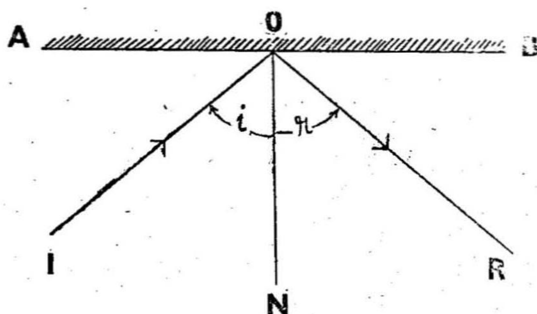
படுகதிர் IO-க்கும், குத்துக்கோடு ON-க்கும் இடைப்பட்ட $\angle ION$ படுகோணம் என்றும், எதிரொளிப்புப் கதிர் OR-க்கும்

2. ஒளி எதிரொளிப்பு

அ. சமதளப் பரப்பில் எதிரொளிப்பு

2.1. ஒளி எதிரொளிப்பு

தன்-ஒளியிலாப் பொருளை (Non-luminous object) அதன் மீது படும் ஒளியினால் பார்க்க முடிகின்றது. இதிலிருந்து பொருளின்மீது படும் ஒளி அதே ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்பப் படுகின்றது என்பது தெளிவாகின்றது. அதாவது படும் ஒளியைப் பொருள் எதிரொளிக்கிறது. பொருளின் பரப்புப் பளபளப்பானதாக இருந்தால் ஒளியானது சில விதிகளுக்குட்பட்டுக் குறிப்பிட்ட திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது.



படம் 2.1. ஒளி எதிரொளிப்பு

படம் 2.1-ல், எதிரொளிக்கும் பரப்பு AB-ன்மீது படும் கதிர் IO, படுகதிர் என்றும், பரப்பினால் அதே ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்பப்படும் கதிர் OR, எதிரொளிப்புக் கதிர் என்றும் கூறப் படும். படுபுள்ளியில் வரையப்படும் குத்துக்கோடு ON, எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கான நேர்குத்துக் கோடு எனப்படும்.

படுகதிர் IO-க்கும், குத்துக்கோடு ON-க்கும் இடைப்பட்ட $\angle ION$ படுகோணம் என்றும், எதிரொளிப்புக் கதிர் OR-க்கும்

குத்துக்கோடு ON-க்கும் இடைப்பட்ட $\angle NOR$ எதிரொளிப்புக் கோணம் என்றும் சொல்லப்படும்.

2.2. எதிரொளிப்பு விதிகள்

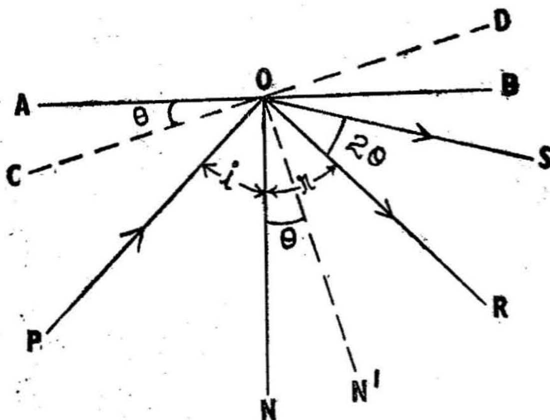
1. படுகதிர், எதிரொளிப்புக் கதிர், படுபுள்ளியில் வரையப்பட்ட குத்துக்கோடு இவை மூன்றும் ஒரே சமதளத்தில் அமையும்.

2. படுகோணமும் எதிரொளிப்புக் கோணமும் சமமானவை.

இரண்டாவது விதியிலிருந்து படுகதிரும், எதிரொளிப்புக் கதிரும் குத்துக்கோட்டிற்குச் சம அளவில் சாய்ந்துள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. எனவே, அவை எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கும் சம அளவில் சாய்ந்திருக்கும்.

2.3. சமதள ஆடியின் சுழற்சி

சமதள ஆடியில் (Plane mirror) படுகதிரின் திசை மாருமலிருக்கும் பொழுது, ஆடி ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு சுழற்றப்பட்டால், எதிரொளிப்புக் கதிர் அக் கோணத்தைப் போன்று இருமடங்கு சுழற்றப்படுகின்றது. இதனைப் படம் 2.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வரைவு முறைகள் வாயிலாக நிரூபிக்கலாம். இத் தத்துவம் நெம்புகோல் (Optic lever), செக்ஸ்டன்ட் (Sextant) போன்ற கருவிகளின் அமைப்பில் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.



படம் 2.2.
ஆடி θ கோணம் சுழலும்பொழுது எதிரொளிப்புக் கதிர் 2θ கோணம் சுழலும் எனக் காட்டுகிறது

படம் 2.2-ல் AB, CD என்பன ஆடியின் இரு நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. PO என்பது ஆடியின் இரு நிலைகளுக்குமான

குத்துக்கோடு ON-க்கும் இடைப்பட்ட $\angle NOR$ எதிரொளிப்புக் கோணம் என்றும் சொல்லப்படும்.

2.2. எதிரொளிப்பு விதிகள்

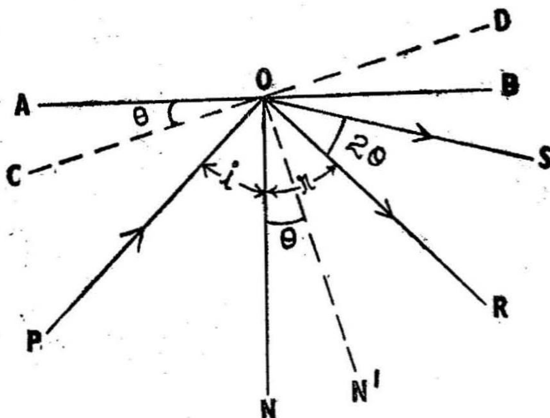
1. படுகதிர், எதிரொளிப்புக் கதிர், படுபுள்ளியில் வரையப்பட்ட குத்துக்கோடு இவை மூன்றும் ஒரே சமதளத்தில் அமையும்.

2. படுகோணமும் எதிரொளிப்புக் கோணமும் சமமானவை.

இரண்டாவது விதியிலிருந்து படுகதிரும், எதிரொளிப்புக் கதிரும் குத்துக்கோட்டிற்குச் சம அளவில் சாய்ந்துள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. எனவே, அவை எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கும் சம அளவில் சாய்ந்திருக்கும்.

2.3. சமதள ஆடியின் சுழற்சி

சமதள ஆடியில் (Plane mirror) படுகதிரின் திசை மாறுமலிருக்கும் பொழுது, ஆடி ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு சுழற்றப்பட்டால், எதிரொளிப்புக் கதிர் அக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்கு சுழற்றப்படுகின்றது. இதனைப் படம் 2.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வரைவு முறைகள் வாயிலாக நிரூபிக்கலாம். இத் தத்துவம் நெம்புகோல் (Optic lever), செக்ஸ்டன்ட் (Sextant) போன்ற கருவிகளின் அமைப்பில் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.



படம் 2.2.

ஆடி θ கோணம் சுழலும்பொழுது எதிரொளிப்புக் கதிர் 2 θ கோணம் சுழலும் எனக் காட்டுகிறது

படம் 2.2-ல் AB, CD என்பன ஆடியின் இரு நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. PO என்பது ஆடியின் இரு நிலைகளுக்குமான

மாறாப் படுகதிராகும். ஆடியின் AB என்ற நிலைக்கான எதிரொளிப்புக் கதிராக OR-ம் ஆடியின் CD என்ற நிலைக்கான எதிரொளிப்புக் கதிராக OS-ம் அமைகின்றன. ஆடி சுழற்றப் பட்டுள்ள கோணம் θ-எனில் முதல் நிலைக்கான எதிரொளிப்புக் கதிர் OR, $\angle ROS$ அளவு சுழற்றப்பட்டு OS என்னும் நிலையைப் பெறுகின்றது. ON, ON' என்பவை முறையே AB, CD இவற்றுக்கான குத்துக்கோடுகள். ஆகையால்,

$$\angle NON' = \theta.$$

மேலும் படுகோணம் i-யும் எதிரொளிப்புக் கோணம் r-ம் சமமாகையால்,

$$\angle POR = 2\ \angle PON$$

$$\angle POS = 2\ \angle PON'$$

எனவே,

$$\begin{aligned}\angle ROS &= \angle POS - \angle POR\\ &= 2\ \angle PON' - 2\ \angle PON\\ &= 2\ \angle NON'\\ &= 2\,\theta\end{aligned}$$

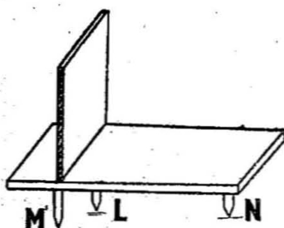
இதிலிருந்து ஆடி சுழற்றப்படும் கோணத்தைப் போன்று எதிரொளிப்புக் கதிர் இரு மடங்கு கோண அளவு சுழற்றப் படுகின்றது என்பதை அறியலாம். மேலும் ஒளிக்கதிரின் நேர் எதிர்ப் பண்பு காரணமாக RO, SO என்னும் இரு படுகதிர் களுக்கான பொது எதிரொளிப்புக் கதிராக OP-யைக் கொள்ளலாம். எனவே, ஆடியை ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு சுழற்றும்போது எதிரொளிப்புக் கதிர் மாறாததொன்றாக இருக்க வேண்டுமெனில் படுகதிர் அக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்கு கோணச் சுழற்சி அடையுமாறு செய்யவேண்டும்.

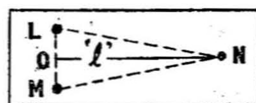
2.4. ஒளியியல் நெம்புகோல்

பகுதி 2.3-ல் பார்த்த தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட ஒரு கருவி ஒளியியல் நெம்புகோல் ஆகும். இதில் தனி ஒளியியல் நெம்புகோல் (Single Optic Lever), இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் (Double Optic Lever) என இருவகை உண்டு. தனி ஒளியியல் நெம்புகோல் சிறு தடிமங்களைக் (thickness) காணப் பயன்படும். இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் தடிமங்களுடன் கோளப் பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்களையும் காணப் பயன்படும்.

2.5. தனி ஒளியியல் நெம்புகோல்

மூன்று சமநீளம் கொண்ட ஊசி முனைக் கால்களின் மீது ஒரு செவ்வக உலோகத் தகடு கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்த மூன்று கால்களும் படம் 2.3. (b)-யில் காட்டியுள்ளவாறு ஓர் இரு சமபக்க முக்கோணத்தின் உச்சிகளான L, M, N-ல் அமைகின்றன. L, M என்ற கால்களை இணைக்கும் நேர் கோட்டிற்கு இணையாகவும், தகட்டின்மீது செங்குத்தாகவும் படம் 2.3.(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு ஒரு சமதள ஆடித்துண்டு





(a) (b)

படம் 2.3. தனி ஒளியியல் நெம்புகோல்

பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இவ்வகை அமைப்பே ஒரு தனி ஒளியியல் நெம்புகோல் ஆகும்.

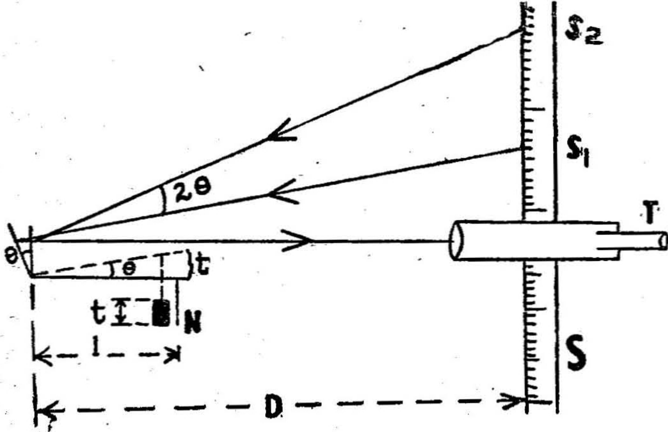
2.6. தனி ஒளியியல் நெம்புகோலைக் கொண்டு ஒரு கண்ணாடித் தகட்டின் தடிமம் காணல்

ஒளியியல் நெம்புகோலை மேசையின் மீதுள்ள ஒரு சமதளப் பரப்பின் மீது வைக்கவும். மில்லி மீட்டர்களில் அளவீடு செய்யப் பட்டுள்ள ஓர் அளவுகோல் S ஐச் செங்குத்தாக நெம்புகோல் ஆடிக்கு முன்னால் சுமார் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் வைக்கவும். அளவுகோலுக்கு வெகு அருகிலும், நெம்புகோல் ஆடியின் மட்டத்திற்கான உயரத்திலும் ஒரு தொலைநோக்கி T ஐப் பொருத்தவும்.

தொலைநோக்கியைச் சரிசெய்து, ஆடியில் தெரியும் அளவு கோலின் தெளிவான படிவம் பார்வைப் புலத்தில் (field of view) பொலிவுடன் தோன்றுமாறு அமைத்துக் கொள்ளவும்.

தொலைநோக்கியின் கண்ணருகு வில்லையில் தெரியும் குறுக்குக் கம்பிகளில் (cross-wires) கிடைநிலை குறுக்குக் கம்பியுடன் (horizontal cross-wire) இணையும் அளவீடு S_1 ஐக் குறித்துக்

கொள்ளவும். பின்னர் ஒளியியல் நெம்புகோலின் நிலை மாறாமல் தடிமம் காணவேண்டிய மெல்லிய தகட்டை முன்னங்கால் N-க்குக்



படம் 2.4. தனி ஒளியியல் நெம்புகோலைக் கொண்டு தடிமம் காணல்

கீழே வைக்கவும். இதனால் நெம்புகோலின் கிடைநிலைத் தகடும், அதன் மீது நேர்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ள ஆடியும் θ கோணம் சுழற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது தொலைநோக்கியில் கிடைநிலைக் குறுக்குக் கம்பியுடன் இணையும் அளவீடு S_2-வைக் குறித்துக் கொள்ளவும்.

அளவுகோலுக்கும் ஆடிக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை D எனவும், முன்னங்கால் N-க்கும் பின்னங்கால்கள் L, M இவற்றை இணைக்கும் கோட்டிற்குமான நேர்குத்துக் கோடு ON ஐ l-எனவும் கொள்ளவும் (படம் 2.3. (b)).

ஆடி 'θ' கோணம் சுழற்றப்படுவதால், எதிரொளிப்புக் கதிர் '2θ' கோணம் சுழற்றப்படும்.

எனவே படம் 2.4.-ல்,

$$\text{டேன் } 2\theta = \frac{S_1 \sim S_2}{D}$$

$S_1 \sim S_2 = s$ என்று கொள்வதுடன் θ மிகவும் குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டிருக்குமாதலால்,

$$\text{டேன் } 2\theta = 2\theta = \frac{s}{D} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } \theta = \frac{s}{2D} \qquad (1)$$

மேலும் முன்னங்கால் N-ன் கீழ், தடிமம் காணவேண்டிய கண்ணடித் தகடு வைக்கப்படுவதனுல் கிடைநிலைத் தகடும் θ கோணம் சுழற்றப்படும். கோணத்தின் மதிப்பு மிகக் குறைவாக உள்ளமையால்,

டேன் $\theta = \theta$ ஆகும்.

தடிமம் 't' எனில்

$$\theta = \frac{t}{l} \qquad (2)$$

என எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவற்றிலிருந்து

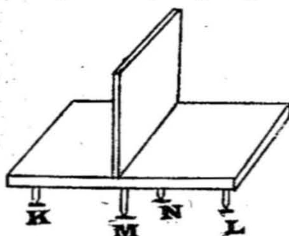
$$\frac{t}{l} = \frac{s}{2D}$$

அல்லது, தடிமம் $t = \frac{s}{2D} l$. இச் சமன்பாட்டில் t ஐத் தவிர மற்ற எல்லா மதிப்புகளும் தெரியுமாகையால், t ஐத் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம்.

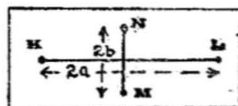
2.7. இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல்

இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோலில் (Double Optic Lever) சாய்சதுரமொன்றின் முனைகளில் அமையும் K, L, M, N என்னும் நான்கு ஊசிமுனைக் கால்களின் மீது செப்புத் தகடொன்று கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

K, L இவற்றைச் சேர்க்கும் நேர்கோடும் M, N இவற்றைச் சேர்க்கும் நேர்கோடும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக உள்ளன.



(a)



(b)

படம் 2.5. இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல்

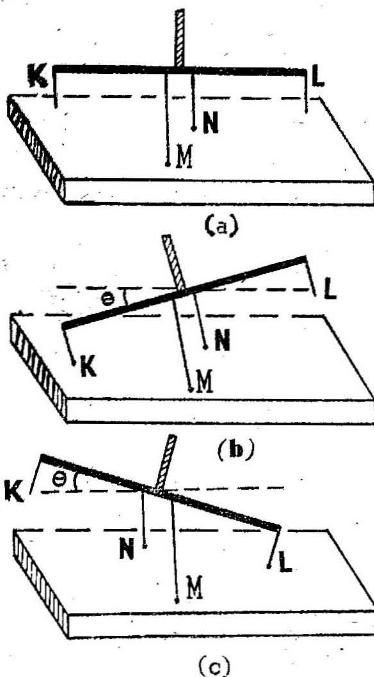
MN-க்கு இணையாகவும் செப்புத் தகட்டிற்குக் குத்தாகவும் ஒரு சமதள ஆடி பொருத்தப்பட்டுள்ளது (படம் 2.5.(a)). நெம்பு கோலின் மையத்திலுள்ள M, N என்னும் இரண்டு கால்களும் சமநீளம் கொண்டவை. இவை K, L என்னும் சம நீளமுள்ள கால்களைவிடச் சற்று நீளமானவை.

இதனால் ஒரு சமதளத்தின் மீது நெம்புகோல் வைக்கப்படும் பொழுது மைய இரு கால்களினாலும், பின் அல்லது முன் காலினாலும் தாங்கப்படும்.

2.8. மெல்லிய தகட்டின் தடிமம் காணல்

இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோலை மேசை மீதுள்ள ஒரு சமதளப் பரப்பின்மீது வைக்கவும். நெம்புகோல் ஆடியின் முன்னால் சுமார் ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் ஓர் அளவுகோலைச் செங்குத்தாக வைக்கவும். ஒரு தொலைநோக்கியை ஆடியின் மட்டத்தில் கிடையாகவும், அளவுகோலுக்கு அருகிலும் வைக்கவும். ஆடியில் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர்த் தெரியும் அளவுகோலின் படிவம் பொலிவாகத் தெரியும் வண்ணம் தொலைநோக்கியைச் சரி செய்யவும். கால்களின் நீளத்தில் உள்ள வேறுபாட்டினால், தளத்தின் மீது வைக்கப்படும் பொழுதும் நெம்புகோல் சுழல்கின்றது.

படம் 2·5. (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு $KL = 2a$ என்றும், $MN = 2b$ என்றும் கொள்ளவும். ஆடியிலிருந்து அளவுகோல் உள்ள தூரம் D என்று கொள்ளவும். மைய இரு கால்கள் M, N இவற்றால் மட்டுமே தாங்கப்பட்டுச் செப்புத்தகடு கிடையாக இருக்கும் நிலை படம் 2·6. (a)-ல் காட்டப்பட்டு உள்ளது. இந்நிலையில் இருந்து மையக் கால்கள் M, N, பின்னங்கால் K இவற்றால் தாங்கப்படுமாறு செய்தால், செப்புத்தகடு கிடைநிலைக்கு θ கோணம் சுழற்றப்படுகின்றது. இது படம் 2·6. (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. பின்னர்ப் படம் 2·6. (c)-ல் இருப்பது போன்று M, N, முன்னங்கால் L இவற்றால் தாங்கப்படும் பொழுது கிடைநிலையில் இருந்து θ கோணம் சுழற்றப்படுகின்றது. எனவே, சமதளத்தின்மீது வைக்கப்பட்ட



படம் 2.6.
சமதளத்தின்மீது இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் வைக்கப்படும் பொழுது அமையும் நிலைகளைக் காட்டுகின்றது

இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் மையக் கால்கள் M, N

பின்னங்கால் K இவற்றால் தாங்கப்படும் நிலையில் இருந்து M, N முன்னங்கால் L இவற்றால் தாங்கப்படும் வரை சுழற்றப்படும் கோணம் 2θ ஆகும். மைய இரு கால்கள் M, N, பின்னங்கால் K இவைகளால் நெம்புகோல் தாங்கப்படும்பொழுது தொலை நோக்கியில் குறுக்கிணைக் கம்பியுடன் இணையும் அளவு S_1-ஐக் குறித்துக்கொள்ளவும். பின்னர் நெம்புகோல் மையக் கால்கள் M, N, முன்னங்கால் L இவைகளால் தாங்கப்படுமாறு செய்து, குறுக்கிணைக் கம்பியுடன் இணையும் அளவு S_2-வைக் குறித்துக்கொள்ளவும். ஆடி சுழற்றப்படும் கோண அளவு 2θ ஆகையால் எதிரொளிப்புக் கதிர் 4θ கோண அளவு சுழற்றப்படும். எனவே அளவீடுகள் S_1, S_2 இவைகளுக்கு இடைப்பட்ட வேறுபாடு $(S_1 \sim S_2) = s_1$ எனில்,

$$\frac{s_1}{D} = 4\theta \qquad (1)$$

அடுத்துத் தடிமம் காண வேண்டிய கண்ணாடித் தகட்டை மையக் கால்களான M, N, இவைகளின்கீழ் மட்டும் இருக்குமாறு வைக்கவும். தகட்டின் தடிமம் 't' எனில் உண்டாகும் அதிகப் படியான கோணம் $\frac{2t}{a}$ ஆகும். முன்போலவே, பின்னங்கால் K, முன்னங்கால் L இவைகளால் நெம்புகோல் தாங்கப்படும்பொழுது இணையும் அளவுகளைக் குறித்துக்கொள்ளவும். அவைகளை முறையே S'_1, S_2' எனவும், அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட வேறுபாட்டை $(S_1' \sim S_2')$ s_2 எனவும் கொள்ளவும்.

எதிரொளிப்புக் கதிர் அதிகப்படியாக சுழற்றப்படும் கோணம் $\frac{4t}{a}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே} \qquad \frac{s_2}{D} = 4\left(\theta + \frac{t}{a}\right) \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து (2) — (1) ஐக் காண

$$\frac{s_2 - s_1}{D} = 4\left(\theta + \frac{t}{a}\right) - 4\theta$$

$$= \frac{4t}{a}$$

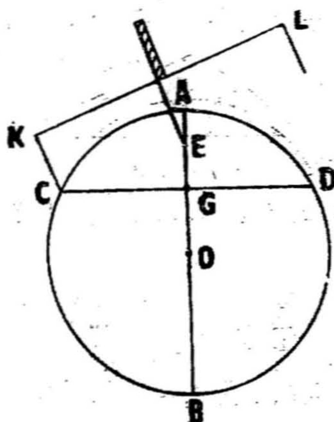
$$\text{எனவே,} \quad t = \frac{a\,(s_2 - s_1)}{4D} \qquad (3)$$

மற்ற எல்லா அளவுகளும் தெரியுமாகையால் t-ஐக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

2.9 கோளப் பரப்பொன்றின் வளைவு ஆரம் காணல்

முன் ஆய்வினைப் போன்றே, முதலில் நெம்புகோலை ஒரு சமதளப் பரப்பின்மீது வைத்து அதன் முன்னங்கால் L, பின்னங் கால் K இவற்றால் தாங்கப்படும் நிலைகளில் அளவீடுகளை எடுத்து அவைகளுக்கிடையேயான வேறுபாட்டைக் காணவும். வேறு பாட்டை s_1 எனக் கொள்ளவும். பின்னர் வளைவு ஆரம் காண வேண்டிய வளைபரப்பின்மீது (குவி பரப்பு என்க) நெம்புகோலை வைக்கவும். மையக் கால்கள் M, N, முன்னங்கால் L இவை களால் தாங்கப்படும்பொழுதும், நெம்புகோலைச் சுழற்றி பின்னங் கால் K-ஆல் தாங்கப்படும்பொழுதும், தொலைநோக்கியின் கிடைக் குறுக்குக் கம்பியில் பொருந்தும் அளவுகளைக் கண்டு, அவைகளுக்கு இடையேயான வேறுபாட்டைக் காணவும். இந்த மதிப்பை s_2 எனக் கொள்ளவும்.

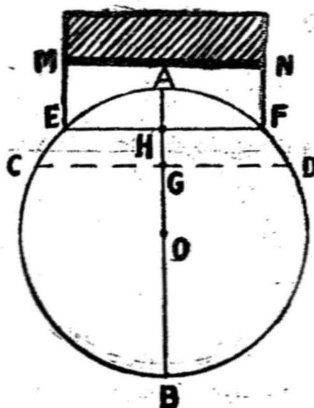
ஆரம் காண வேண்டிய வளைபரப்பு எந்தக் கோளத்தின் பகுதியோ அதனுடைய ஒரு முக்கியப் பகுதி (Principal section) படம் 2.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 2.7
கோளப் பரப்பின்மீது இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல்

நெம்புகோல் கோளப்பரப்பின்மீது வைக்கப்பட்டு, மையக் கால் களாலும் பின்னங்கால் K மூலமும் தாங்கப்படும் நிலையைப் படம் 2.7 காட்டுகின்றது. அதே நேரத்தில் மையக்கால்கள் M, N, பொருந்தும் புள்ளிகளையும், ஆடியின் நிலையையும் படம் 2.8 காட்டு கின்றது.

படங்கள் (2.7, 2.8) இரண்டிலும் AOB என்பது வளைபரப்பின் வளைவு மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் விட்டம் ஆகும். கால் K



படம் 2.8

பொருந்தும் புள்ளி C என்றும், கால் L பொருந்தும் புள்ளி D என்றும், மையக் கால்கள் M, N, இவை பொருந்தும் புள்ளிகள் முறையே E, F என்றும் கொள்வோம். புள்ளிகள் C, D, வழியாகச் செல்லும் தளமானது AOB-ஐ G-யிலும் [படம் 2.7] E, F இவைகளின் வழியாகச் செல்லும் தளம் H-லும் [படம் 2.8] சந்திக்கும். எனவே இரு தளங்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் GH ஆகும்.

நெம்புகோலில்,

$$KL = 2a, MN = 2b,$$

என்று கொண்டால், படம் 2·7-ல்

$$(2R - AG)\ AG = CG^2$$

$$2R \cdot AG - AG^2 = CG^2$$

$$AG = \frac{CG^2}{2R} \qquad (1)$$

[AG^2-ன் மதிப்பு விட்டுவிடக்கூடிய அளவிற்குச் சிறியது.]

ஆனால் $CG = a$

எனவே, $AG = \dfrac{a^2}{2R}$ (2)

இதே போன்று படம் 2.8-ல்

$$AH = \frac{(EH)^2}{2R}$$

ஆனால் $EH = b$

$$\therefore AH = \frac{b^2}{2R} \qquad (3)$$

எனவே இரு தளங்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம்

$$GH = AG - AH$$

$$= \frac{a^2 - b^2}{2R} \qquad (4)$$

முன்பு எடுத்துள்ள அளவுகள் s_1, s_2 இவைகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு, தளங்கள் CD, EF இவைகளுக்கிடைப்பட்ட குத்து தூரம் GH-ஆல் ஏற்பட்டதாகும்.

$$\text{எனவே, தடிமம் } GH = \frac{a}{4D}(s_2 - s_1) \qquad (5)$$

சமன்பாடுகள் (4), (5) இவைகளிலிருந்து,

$$GH = \frac{a}{4D}(s_2 - s_1) = \frac{a^2 - b^2}{2R}$$

எனவே,

$$R = \frac{2D(a^2 - b^2)}{a(s_2 - s_1)}$$

கோளக் குவிப் பரப்பின் வளைவு ஆரத்தை இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம்.

குழிப்பரப்பின் வளைவு ஆரத்தைக் காண நெம்புகோலின் அமைப்பை மாற்ற வேண்டி உள்ளது. அதாவது ஆடியை K, L என்ற கால்களை இணைக்கும் நேர்க் கோட்டிற்கு இணையாகப் பொருத்திப் பயன்படுத்த வேண்டும். இந்த அமைப்புடைய நெம்புகோலின் மூலம், முன்போன்றே அளவுகளை எடுத்து R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

2.10. செக்ஸ்டன்ட்

ஆடி சுழற்றப்படும் கோணத்தைப்போன்று, எதிரொளிப்புக் கதிர் இரு மடங்கு கோணம் சுழற்றப்படும் என்னும் தத்துவத்தின்

அடிப்படையில் இக் கருவியும் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இது சூரியனுடைய குத்துயரம் (Altitude), மலைகளின் உயரம் இவற்றைக் கணக்கிடப் பயன்படுகிறது. தவிர, இக்கருவியிலிருந்து சற்றேறக் குறைய சம தூரத்தில் அமைந்துள்ள இரண்டு பொருள்கள் ஆய்வாளரின் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்தைத் தீர்மானிக்கவும் உதவுகின்றது.

இக் கருவியைக் கொண்டு எடுக்கப்படும் அளவுகள் கப்பலின் இயக்கத்தினால் பாதிக்கப்படுவதில்லையாகையால் சூரியனுடைய குத்துயரத்தைக் காண மாலுமிகள் இதனைப் பயன்படுத்துகின்றனர்.

படம் 2.9. செக்ஸ்டன்டின் அமைப்பு

செக்ஸ்டன்ட்டின் அமைப்பு, படம் 2.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது இதில் வில் வடிவமான உலோகச் சட்டம் BD உள்ளது. ஆரச் சட்டங்கள் AB, CD ஆகியவைகளின் ஒரு பக்க முனைகள் நிலையான வட்ட வட்டுடனும் (Circular Disc) மறுபக்க முனைகள் வில் சட்டம் BD-ன் முனைகளுடனும் பொருந்துமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆரச் சட்டங்கள் AB, CD இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 60°-க்கும் அதிகமாக இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

வில் வடிவச் சட்டம் பாகைகளில் அளவீடு செய்யப்பட்டுள்ளது. பெரிய வட்ட வட்டின்மீது மற்றொரு சிறிய வட்டு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சிறிய வட்டுடன் ஆரச் சட்டம் VV, வட்டுகளின் மையங்களின் வழியாகச் செல்லும் குத்து அச்சைப்பற்றி, சிறிய வட்டும், ஆரச் சட்டம் VV-யும்சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆரச் சட்டம் VV-ன் மறு முனையில் அமைந்திருக்கும் வெர்னியர் அளவுகோல், வில் வடிவச் சட்டம் BD-ன்மேல் நகருமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. M_1 என்னும் சமதள ஆடி, சுழலும் சிறிய வட்டின்மேல் குத்தாகவும், ஆரச் சட்டம் VV-க்கு இணையாகவும் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஆரச்சட்டம் AB-ன்மேல் M_2 என்னும் ஆடி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. வில் வடிவச் சட்டம் BD-யின் மீதுள்ள அளவீடுகளின் சுழியமும், வெர்னியர் அளவுகோலின் சுழியமும் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தும்பொழுது, ஆடிகள் M_1, M_2 இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் ஆடி M_2-ன் மேல்பகுதி ரசம் பூசப்படாத கண்ணாடித் தகட்டையும் கீழ்ப்பகுதி நன்கு ரசம் பூசப்பட்ட எதிரொளிக்கும் சமதளப் பரப்பையும் கொண்டதாகும். தொலை நோக்கி T, ஆரச்சட்டம் CD-யின்மேல் கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. T-யின் அச்சு, M_2-க்கு வரையப்படும் குத்துக் கோட்டுடன் 30° கோணம் அமைக்கின்றது.

இரண்டு பொருள்களுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை செக்ஸ்டன்டின் மூலம் தீர்மானிக்க, அவ்விரு பொருள்களும் ஆடி M_1-ல் தாங்கும் கோணத்தைக் காணவேண்டும். முதல் பொருளை நோக்கி செக்ஸ்டன்ட் வைக்கப்பட வேண்டும். அப்பொருளிலிருந்து வரும் இரண்டு கதிர்களைக் கருதலாம். EM_1 என்ற கதிர் ஆடி M_1-ன் மேல் பட்டு எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் M_1F என்னும் திசையில் M_2-வில் 30° படுகோணத்தில் விழும். இக்கதிர் மீண்டும் தொலை நோக்கியின் அச்சிற்கு இணையான திசை FG-யின் வழியாக எதிரொளிக்கப்படும். இதனால் பார்வைப் புலத்தின் மேல் பகுதியில் பொருளின் படிவமொன்று உண்டாகும். அதே நேரத்தில் பொருளினின்று வரும் IM_2 போன்ற கதிர்கள், M_2-வின் ரசம் பூசப்படாத மேற்பகுதியின் வழியாகச் சென்று பார்வைப் புலத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் மற்றொரு படிவத்தை உண்டாக்கும். இரண்டு படிவங்களும் ஒன்றின் மேல் மற்றது நிற்கின்றாற்போல் சரி செய்யப்படவேண்டும்.

பின்னர் தொலை நோக்கியின் வழியாக M_2-வின் ரசம் பூசப்படாத பாகத்தினால் உண்டாக்கப்பட்ட முதல் பொருளின் படிவத்தைப் பார்த்துக்கொண்டே, ஆடி M_1-ஐ இரண்டாவது பொருளை

நோக்கிச் சுழற்றவும். பார்வைப் புலத்தில் இரண்டாவது பொருளின் படிவம் தெரிந்தவுடன் M_1-ஐ மெதுவாகச் சுழற்றி, முதல் பொருளின் படிவத்திற்கு மேல் இரண்டாவது பொருளின் படிவம் சரியாக நிற்கின்றாற் போல் செய்யவும். இரண்டாவது பொருளிலிருந்து வரும் கதிர் HM_1ஐக் கருதுவோம். இது M_1-ல் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர், M_1F, FG ஆகிய பாதைகளில் தொலைநோக்கியை அடைகின்றது. எனவே, EM_1, HM_1, ஆகிய இருபடு கதிர்களுக்கும் M_1F-மாறு எதிரொளிப்புக் கதிராக அமைகின்றது. எனவே, ஆடி சுழற்றப்பட்ட கோணம் θ எனில்,

$$\angle EM_1H = 2\theta \text{ ஆகும்.}$$

இரண்டு பொருள்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 'h' எனவும், செக்ஸ்டன்டிலிருந்து பொருள்களுக்கு உள்ள தூரம் D எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{h}{D} = \text{டேன் } 2\theta$$

$$h = D \text{ டேன் } 2\theta$$

$$\frac{h}{\text{டேன் } 2\theta} = D \qquad (1)$$

D-ன் மதிப்பை நேரடியாக அளக்க முடியாவிடில் செக்ஸ்டன்டை முதல் அளவு எடுத்த நிலையிலிருந்து S தூரம் பின்பக்கமாக நகர்த்தி முன்போலவே அளவீடுகள் எடுத்து, ஆடி சுழற்றப்பட்ட கோண மதிப்பினைக் காணவேண்டும்.

கோணத்தின் மதிப்பு θ_1 எனில்,

$$\frac{h}{D+S} = \text{டேன் } 2\theta$$

எனவே

$$\frac{h}{\text{டேன் } 2\theta_1} = (D + S) \qquad (2)$$

சமன்பாடு 2) — (1)-ஐக் கணடால்,

$$h\left(\frac{1}{\text{டேன் } 2\theta_1} - \frac{1}{\text{டேன் } 2\theta}\right) = S$$

எனவே

$$h = \frac{S \times \text{டேன் } 2\theta_1 \times \text{டேன் } 2\theta}{\text{டேன் } 2\theta - \text{டேன் } 2\theta_1}$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து இரு பொருள்களுக்கிடையேயான தூரத்தைக் கண்க்கிடலாம்.

சில செக்ஸ்டன்ட்டுகளில் BD-யின் மேல் உள்ள அளவீடுகள், இரு மடங்காகவே குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இதனுல் கோணத்தை நேரடியாகப் பெற முடியும்.

(ஆ) கோளப் பரப்புகளில் எதிரொளிப்பு

2.11. உள்ளீடற்ற கண்ணுடிக் கோளத்திலிருந்து வெட்டி எடுக்கப்பட்ட பகுதியொன்று கோளப் பரப்பு எனப்படும்.

அப் பரப்பைக் கொண்டு இரு வகையான எதிரொளிக்கும் கோள ஆடிகளைச் செய்ய இயலும். இப் பரப்பின் உள் பக்கம் ரசம் பூசப்பட்டால் ஒரு குவி ஆடியாகவும், வெளிப்பக்கம் ரசம் பூசப்பட்டால் ஒரு குழி ஆடியாகவும் அமையும்.

2.12. சில வரையறைகள்

வளைவு மையம்

ஆடி எந்தக் கோளத்தின் பகுதியோ அக் கோளத்தின் மையம், ஆடியின் வளைவு மையம் (Centre of Curvature) எனப்படும்.

வளைவு ஆரம்

ஆடி எந்தக் கோணத்தின் பகுதியோ அக் கோளத்தின் ஆரம், ஆடியின் வளைவு ஆரம் (Radius of Curvature) எனப்படும்.

ஆடி மையம்

ஆடியின் எதிரொளிக்கும் பரப்பின் வடிவியல் மையம், (Geometric Centre), ஆடி மையம் (Pole of the mirror) எனப்படும்.

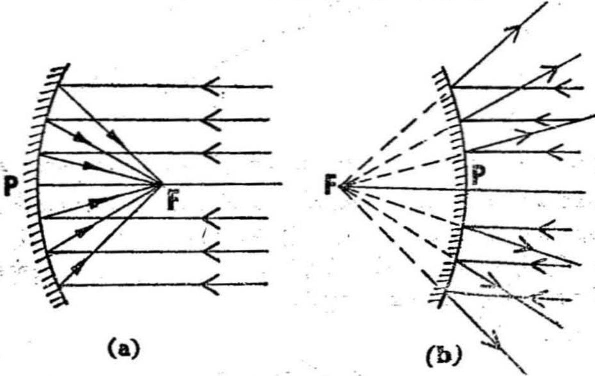
முக்கிய அச்சு

ஆடி மையம், வளைவு மையம் இவைகளின் வழியாகச் செல்லும் நேர்க்கோடு முக்கிய அச்சு (Principal axis) எனப்படும்.

ஆடியின் முக்கிய பகுதி

ஆடி மையம், வளைவு மையம் இவைகளின் வழியாகச் செல்லும் தளம் ஆடியை வெட்டுவதனால் கிடைக்கும் வெட்டு முகப்பு, ஆடியின் முக்கியப் பகுதி (Principal section) எனப்படும்.

பயன்படும் எல்லா ஆடிகளும் சிறிய எதிரொளிப்பு பரப்புகளைக் கொண்டவை என்றும், அவைகளின்மீது படும் கதிர்கள் எல்லாம் அச்சருகு கதிர்கள் (Paraxial rays) என்றும் கொள்கின்றோம்.



படம் 2.10. (a) குழி ஆடி (b) குவி ஆடி

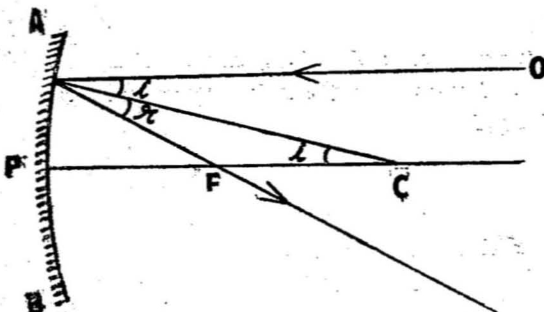
குழியாடியின்மீது விழும் குறுகிய இணைக் கதிர்கள் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் முக்கிய அச்சின் மீது ஒரு புள்ளி F-ல் குவிகின்றன [படம் 2.10 (a)]. ஆனால் குழியாடியின் மீது விழும் குறுகிய இணை கதிர்கள் முக்கிய அச்சின் மீதுள்ள புள்ளி F-லிருந்து விரிந்து செல்வது போலத் தோன்றுகின்றன [படம் 2.1.0 (b)]. இரண்டு ஆடிகளிலும் புள்ளி F ஆனது முறையே அவற்றின் முக்கியக் குவியம் (Principal focus) எனப்படும்.

ஆடி மையம் P க்கும் குவியம் F-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் ஆடியின் குவிய தூரம் (Focal length) எனப்படும்.

சமதளப் பரப்புகளுக்கான எதிரொளிப்பு விதிகள் கோளப் பரப்புகளுக்கும் பொருந்தும். கோளப் பரப்பில் ஒரு புள்ளியில் குத்துக் கோடு எனப்படுவது அப்புள்ளியையும், வளைவு மையத்தையும் சேர்க்கும் நேர்கோடாகும். இதனால் வளைவு மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் கதிர் பரப்பின் மேல் நேர்க்குத்தாக விழுகின்றது. எனவே கதிரானது சென்ற திசையிலேயே திருப்பி அனுப்பப்படும்.

2.13. குவிய தூரம், வளைவு ஆரம் இவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தொடர்பு

படம் 2.11-ல், APB என்பது ஒரு கோள ஆடிப் பரப்பு எனக் கொள்வோம். OA என்பது அச்சிற்கு இணையாக விழும் கதிர். எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அது F-ன் வழியாகச் செல்லும்.



படம் 2.11. குவியதூரம் வளைவு ஆரத்தில் பாதி எனக் காட்டல்.

ஆடியின் பரப்பின் மீதுள்ள புள்ளி A, P-க்கு மிகவும் அருகில் உள்ளது எனக்கொள்வோம். இப்பொழுது புள்ளி A வளைவு மையம் C இவற்றைச் சேர்க்கும் நேர்க்கோடு CA, புள்ளி A-ல் பரப்பிற்கான குத்துக் கோடாகும்.

மேலும்

$$\angle OAC = i \text{ (படுகோணம்)}$$

$$\angle CAF = r \text{ (எதிரொளிப்புக்கோணம்)}$$

ஆனல் எதிரொளிப்பு விதிகளின்படி,

$$i = r$$

$$\therefore \quad \angle OAC = \angle CAF$$

ஆனல் $\angle OAC = \angle ACF$ ($\because$ ஒன்றுவிட்ட கோணங்கள்)

$$\therefore \quad \angle CAF = \angle ACF$$

எனவே $\triangle ACF$-ல்,

$$AF = FC$$

ஆனல் A, P-க்கு மிக அருகில் இருக்கின்றது என்று கொண்டால், AF, PF-க்கு சற்றேறக் குறைய சமம் என எடுத்துக் கொள்ளலாம். அல்லது F-தான் PC-யினுடைய மையப்புள்ளி ஆகும்.

அதாவது $PF = \frac{1}{2} PC$

ஆனல் $PC = R$; $PF = f$

எனவே $f = \frac{1}{2} R$

இதிலிருந்து குவிய தூரம் வளைவு ஆரத்தில் பாதி மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் என்பது தெளிவு.

2.14. கோளக ஆடிகளில் வரைவு முறையில் படிவங்களை உண்டாக்குதல்

அச்சிற்கு மிக அருகில் உள்ள ஒரு பொருளுக்கான படிவத்தைக் கோளக ஆடி ஏற்படுத்தும் நிலையைப் பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஏதாவது இரண்டு கதிர்கள் செல்லும் பாதைகளைக் கொண்டு தீர்மானிக்கலாம்.

கீழ்க்காணும் கதிர்களில் ஏதாவது இரண்டைக் கருதலாம்.

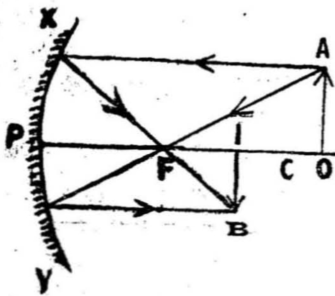
1. பொருளிலிருந்து முக்கிய அச்சிற்கு இணையாகச் சென்று ஆடியில் பட்டு எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் குழியாடியானல் முக்கிய குவியத்தின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்; குவியாடியானல் முக்கிய குவியத்திலிருந்து விரிந்து செல்வது போன்று தோன்றும் கதிர்.

2. பொருளிலிருந்து வளைவு மையத்தின் வழியாகச் சென்று, ஆடிப் பரப்பில் விழுந்து மீண்டும் அதே திசையில் திரும்பும் கதிர்.

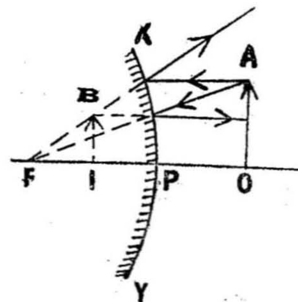
3. பொருளிலிருந்து சென்று ஆடி மையத்தில் விழுந்து எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் முக்கிய அச்சிற்கு எதிர்பக்கத்தில் சம கோண அளவு சாய்ந்து வெளியேறும் கதிர்.

4. பொருளிலிருந்து முக்கிய குவியத்தின் வழியாகச் சென்று எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் முக்கிய அச்சிற்கு இணையாக வெளியேறும் கதிர்.

ஆடியின் முன்னல் அச்சின்மீது அமைந்துள்ள பொருள் OA-வின் படிவம் உண்டாகும் நிலையைக் கீழ்க்கண்டவாறு காணலாம்.



(a)



(b)

படம் 2.12

XPY என்பது கோளக ஆடிப்பரப்பு. A-யிலிருந்து செல்லும் இரண்டு கதிர்களில் ஒன்று அச்சிற்கு இணையாகச் சென்று குவியம் F-ன் வழியாக வெளியேறுகின்றது. மற்றது F-ன் வழியாகச் சென்று ஆடியின் மீது விழுந்து எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அச்சிற்கு இணையாகச் செல்கின்றது. இந்த இரண்டு கதிர்களும் வெட்டிக்கொள்ளும் புள்ளி B-ல், A-யின் படிவமும், B-யின் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக் கோடு IB, OA-வின் படிவத்தையும் கொடுக்கும்.

வெவ்வேறு நிலைகளில் வைத்துள்ள பொருள்களின் படிவங்கள் ஏற்படும் நிலைகளையும் அவற்றின் தன்மைகள் பற்றியும் முன் வகுப்பில் படித்துள்ளீர்கள்.

2.15 குறியீட்டு மரபு

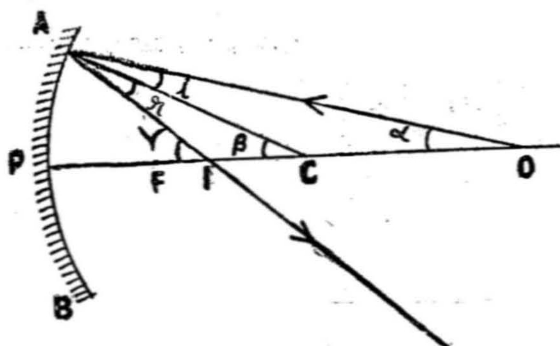
பொருள்களும், படிவங்களும் கோளக ஆடிகளில் ஒரே பக்கத்தில் அமைவதில்லை. எனவே, ஆடி மையத்திலிருந்து அளவிடப்படும் தூரங்களை குறிப்பதற்கான ஒரு பொதுவான குறியீட்டு மரபு (Sign-convention) இன்றியமையாததாகும். 1934-ல் வடிவியல் ஒளியியலை நடத்தும் முறைகள்பற்றி ஆராய ஒரு குழு இயல்பியல் கழகத்தினல் (Physical Society) அமைக்கப்பட்டது. அக் கழகம் பரிந்துரைத்த குறியீட்டு மரபு இங்கு கொடுக்கப்படுகின்றது. மேலும், இப் புத்தகத்தில் உள்ள எல்லாக் குறியீடுகளும் இதன் அடிப்படையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இதன்படி பொருள்கள், படிவங்கள், கோளக ஆடிகளின் வளைவு மையங்கள், குவியங்கள், இவற்றின் தூரங்கள் ஆடி மையத்திலிருந்து அளக்கப்பட வேண்டும். மேலும், ஆடிகளைப் பொறுத்தவரை ஒளிக்கதிர்கள் உண்மையிலேயே பரவும் வெளியில் (Space) அமையும் தூரங்களை நேர்க்குறியுடனும், ஒளிக்கதிர்கள் பரவாத வெளியில் அமையும் தூரங்களை எதிர்க்குறியுடனும், குறியீடு செய்ய வேண்டும். எனவே, இதன்படி உண்மையான பொருள்கள், படிவங்கள் ஆகிய வைகளின் தூரங்கள் நேர்க்குறியுடனும், மாயப் பொருள்கள், படிவங்கள், ஆகியவைகளின் தூரங்கள் எதிர்க்குறியுடனும் இருப்பதாகக் கொள்ள வேண்டும்.

இக் குறியீட்டு மரபுப்படி, ஒரு குழி ஆடியின் குவிய தூரம் நேர்க்குறியுடனும் குவி ஆடியின் குவிய தூரம் எதிர்க் குறியுடனும் எடுத்துக் கொள்ளப்படும். மேலும் கோளக ஆடியின் எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கு முன்னல் பொருள், படிவம் ஆகியவை இருந்தால் அந்தத் தூரங்கள் நேர்க்குறியுடனும், ஆடிக்குப் பின்னல் பொருளோ, படிவமோ இருப்பதாகக் கொண்டால் அந்தத் தூரங்கள் எதிர்க்குறியுடனும் குறிக்கப்படும்.

2.16. குழியாடியில் படிவம் உண்டாதல்—தூரங்களுக்கு இடையேயான சமன்பாடு

*APB*என்னும் குழியாடியின் முக்கிய அச்சின் (Principal axis) மீது, *O* என்னும் புள்ளி ஒளிப்பொருள் (Point object) வளைவு மையத்திற்கு அப்பால் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.



படம் 2.13

OA ஒன்னும் ஒளிக்கதிர் *O*-விலிருந்து புறப்பட்டு, ஆடியின் மீது *A*-வில் படுகோணம் $i = \angle OAC$ இருக்குமாறு விழுந்து எதிரொளிப்பிற்குப் பின்பு அச்சை I-ல் வெட்டட்டும். இப்பொழுது *CA*–தான் A-ல் குத்துக் கோடு எனில்,

$$\angle OAC = \angle IAC$$

மேலும்,

$\angle AOP = \alpha$ என்றும் $\angle ACP = \beta$ என்றும் $\angle AIP = \gamma$ என்றும் கொள்வோம். எனவே படம் 2.13-ல்,

$\triangle ACO$-விலிருந்து

$$\angle\beta = \angle\alpha + \angle i \quad (1)$$

$\triangle ACI$ – விருந்து,

$$\angle\gamma = \angle\beta + \angle r$$

$$= \angle\beta + \angle i \quad (2)$$

$$(\because \quad i = r)$$

சமன்பாடுகள் (1) , (2) இவைகளிலிருந்து

$$2\angle\beta = \angle\alpha + \angle\gamma \quad (3)$$

மேலும் $PO = u$, $PC = R$ (வளைவு ஆரம்) ;

$PI = v$ என்றும், α, β, γ கோணங்கள் மிகக் குறைந்த மதிப்புக் களைக் கொண்டவை என்றும், A-யானது P-க்கு மிக அருகில் உள்ளது என்றும் கொண்டால்,

$$\alpha = \frac{PA}{u} \ ; \ \beta = \frac{PA}{R} \ ; \gamma = \frac{PA}{v}$$

சமன்பாடு (3)-ல் இந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய.

$$\frac{2\,PA}{R} = \frac{PA}{u} + \frac{PA}{v}$$

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

ஆனால் $R = 2f$

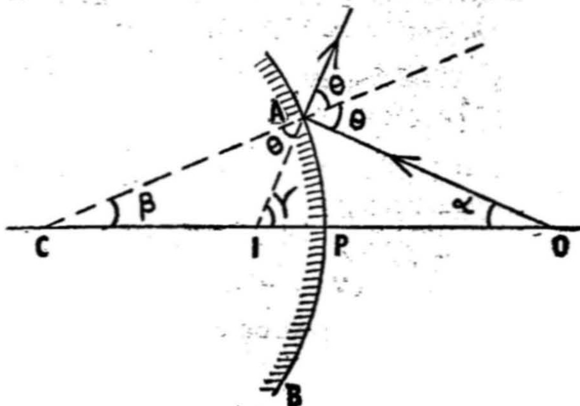
$$\therefore \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

இங்கு u, v, f ஆகியவை எல்லாம் நேர்க்குறியினைக் கொண் டவை.

எனவே $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} \mp \frac{1}{u}$ ஆகும்.

2.17. குவி ஆடியில் படிவம் உண்டாதல்—தூரங்களுக்கு இடையே யான சமன்பாடு

குவி ஆடியின் முக்கிய அச்சின்மீது ஒரு பொருள் O வைக்கப் படும்பொழுது ஒரு மாயப் படிவம் I உண்டாகின்றது.



படம் 2.14.

படத்தில்,

$$2\angle\theta = \angle\gamma + \angle\alpha \qquad (1)$$

$$\angle\gamma = \angle\theta + \angle\beta \qquad (2)$$

இரண்டு சமன்பாடுகளிலிருந்தும் θ வை நீக்க

$$2\angle\beta = \angle\gamma - \angle\alpha \qquad (3)$$

ஆனால், α, β, γ கோணங்கள் மிகச் சிறியவையாகவும் A, P–க்கு மிக அருகாமையிலும் இருந்தால்,

$$\alpha = \frac{PA}{u}; \; \beta = \frac{PB}{R}; \; \gamma = \frac{PA}{v}$$

எனவே,

சமன்பாடு (3)–ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{2\,PA}{R} = \frac{PA}{v} - \frac{PA}{u}$$

அல்லது

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{2}{R}$$

இங்கு பொருள் உண்மையானதாக உள்ளமையால் u நேர்க் குறியையும், படிவம் மாயமானது ஆகையால் v எதிர்க் குறியையும், குறியீட்டு மரபுப்படி R எதிர்க்குறியையும் கொண்டவை. எனவே, சரியான குறிகளையிட

$$-\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{2}{R}$$

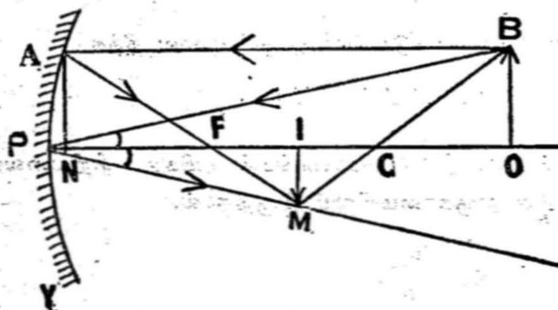
அல்லது,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ ஆகும். } \left[\therefore \; R = 2f \right].$$

2.18. குழியாடியில் நீண்ட பொருளின் படிவம் உண்டாதல்

OB என்பது ஆடி *APY*-யின் அச்சின் மீது குத்தாக உள்ள ஒரு நீண்ட பொருள் எனக் கொள்வோம்.



படம் 2.15.

B-யிலிருந்து அச்சிற்கு இணையாக ஆடியின் மீது விழும் கதிர் *BA*; B-யிலிருந்து ஆடி மையம் *P*-யில் விழும் கதிர் *BP* ஆகிய வற்றைக் கருதவும். எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அவை M-ல் சந்திக்கின்றன எனக் கொள்வோம். M-ன் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு *IM*-தான், *OB*-யின் படிவமாகும். எதிரொளிப்புக்கான இரண்டாவது விதிப்படி,

$$\angle BPO = \angle OPM$$

A-யின் வழியாக அச்சிற்கு *AN* என்னும் குத்துக்கோடு வரையவும். முக்கோணங்கள் *ANF*, *MIF* இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{AN}{IM} = \frac{NF}{FI}$$

N, *P*-க்கு வெகு அருகில் உள்ளது எனக் கொண்டால்,

$$\frac{AN}{IM} = \frac{NF}{FI} = \frac{PF}{FI} \qquad (1)$$

முக்கோணங்கள் *OBP*, *IMP* இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்.

$$\text{எனவே } \frac{OB}{IM} = \frac{PO}{PI} \qquad (2)$$

ஆனால், $OB = AN$.

சமன்பாடு (1)–லிருந்து,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{PF}{FI} \quad (3)$$

சமன்பாடு (2), (3) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{PF}{FI} = \frac{PO}{PI} \quad (4)$$

மேலும் $PF = f$, $PO = u$, $PI = v$ என்று கொண்டு,

சமன்பாடு (4)–ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{f}{v-f} = \frac{u}{v}$$

அல்லது

$$vf = u(v - f)$$
$$vf = uv - uf$$

சமன்பாடு முழுவதையும் uvf – ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v}$$

அல்லது

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

இங்கு u, v, f ஆகிய மூன்றும் நேர்க்குறியைக் கொண்டவை.

ஆகவே $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ஆகும்.

2.19. குழி ஆடியில் மாயப்படிவம் உண்டாதல் — தூரங்களுக்கிடையேயான சமன்பாடு.

பொருள் ஆடி மையத்திற்கும், குவியத்திற்கும் இடையில் வைக்கப்படும் பொழுது மாயப்படிவம் உண்டாகிறது. படம் 2. 16 ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி ஆடி APY-ன் அச்சின் மீது குத்தாகப் பொருள் OB வைக்கப்படும்பொழுது, அச்சிற்கு இணையான கதிர் BA, ஆடிமையத்தில் விழும் கதிர் BP இவைகளைக் கருதவும்.

சமன்பாடு (1)–லிருந்து,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{PF}{FI} \quad (3)$$

சமன்பாடு (2), (3) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{PF}{FI} = \frac{PO}{PI} \quad (4)$$

மேலும் $PF = f$, $PO = u$, $PI = v$ என்று கொண்டு,

சமன்பாடு (4)–ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{f}{v-f} = \frac{u}{v}$$

அல்லது

$$vf = u(v - f)$$
$$vf = uv - uf$$

சமன்பாடு முழுவதையும் uvf – ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v}$$

அல்லது

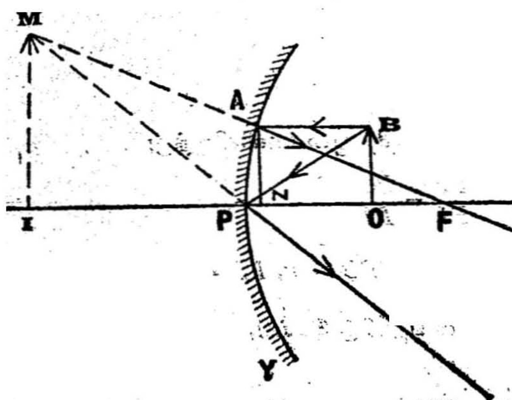
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

இங்கு u, v, f ஆகிய மூன்றும் நேர்க்குறியைக் கொண்டவை.

ஆகவே $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ஆகும்.

2.19. குழி ஆடியில் மாயப்படிவம் உண்டாதல் — தூரங்களுக்கிடையேயான சமன்பாடு.

பொருள் ஆடி மையத்திற்கும், குவியத்திற்கும் இடையில் வைக்கப்படும் பொழுது மாயப்படிவம் உண்டாகிறது. படம் 2. 16 ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி ஆடி APY-ன் அச்சின் மீது குத்தாகப் பொருள் OB வைக்கப்படும்பொழுது, அச்சிற்கு இணையான கதிர் BA, ஆடிமையத்தில் விழும் கதிர் BP இவைகளைக் கருதவும்.



படம் 2.16.

எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அவை சந்திப்பதில்லை. எனவே, ஆடிக்கு முன்னல் படிவம் உண்டாகாது. எதிரொளித்த கதிர்களைப் பின்பக்கம் நீட்ட, அவை M-ல் சந்திக்கட்டும். M-ன் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு IM தான் OB யின் படிவமாகும். AN, A–யின் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடு ஆகும்.

முக்கோணங்கள் ANF, IMF இரண்டும் ஒத்த முக் கோணங்கள்.

எனவே,

$$\frac{AN}{IM} = \frac{NF}{IF} = \frac{PF}{IF} \qquad (1)$$

[N, P-க்கு வெகு அருகில் உள்ளது.]

முக்கோணங்கள் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக் கோணங்கள்.

$$\therefore \frac{OB}{IM} = \frac{PO}{PI} \qquad (2)$$

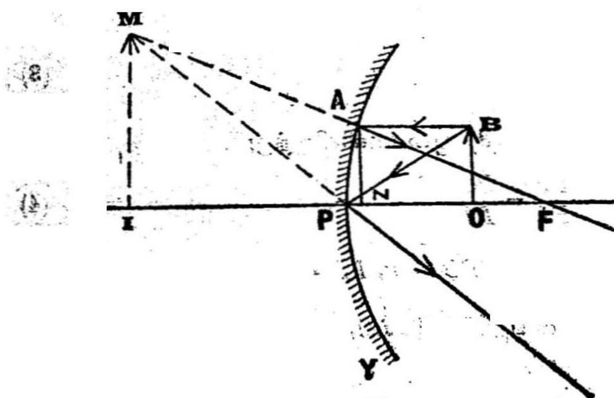
$AN = OB$ ஆகையால்,

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{PF}{FI} = \frac{PO}{PI} \qquad (3)$$

$PF = f$, $PO = u$, $PI = v$ எனக் கொண்டு மதிப்புக்களைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{f}{v+f} = \frac{u}{v}$$



படம் 2.16.

எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அவை சந்திப்பதில்லை. எனவே, ஆடிக்கு முன்னுல் படிவம் உண்டாகாது. எதிரொளித்த கதிர்களைப் பின்பக்கம் நீட்ட, அவை M-ல் சந்திக்கட்டும். M-ன் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு IM தான் OB யின் படிவமாகும். AN, A–யின் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடு ஆகும்.

முக்கோணங்கள் ANF, IMF இரண்டும் ஒத்த முக் கோணங்கள்.

எனவே,

$$\frac{AN}{IM} = \frac{NF}{IF} = \frac{PF}{IF} \qquad (1)$$

[N, P-க்கு வெகு அருகில் உள்ளது.]

முக்கோணங்கள் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக் கோணங்கள்.

$$\therefore \frac{OB}{IM} = \frac{PO}{PI} \qquad (2)$$

$AN = OB$ ஆகையால்,

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{PF}{FI} = \frac{PO}{PI} \qquad (3)$$

$PF = f$, $PO = u$, $PI = v$ எனக் கொண்டு மதிப்புக்களைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{f}{v+f} = \frac{u}{v}$$

அல்லது $vf = uv + uf$

uvf-ஆல் இச் சமன்பாட்டை வகுக்க,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} + \frac{1}{v}$$

அல்லது.

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$ எனக் கிடைக்கும்.

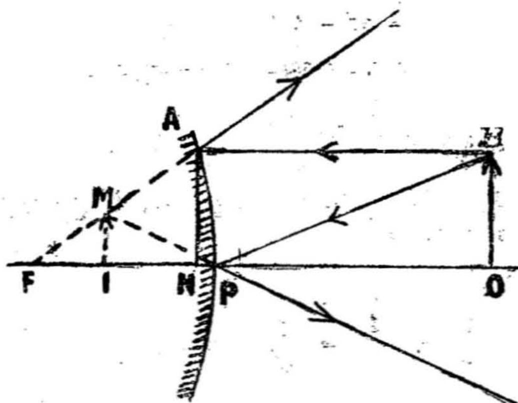
இங்கு u, f இரண்டும் நேர்க்குறியைக் கொண்டவை. v எதிர்க் குறியைக் கொண்டது.

எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$ ஆகும்.

2.20. குவி ஆடியில் நீண்ட பொருளின் படிவம் உண்டாதல்

குவி ஆடியின் அச்சின்மீது பொருள் எந்த நிலையிலிருந்தாலும் மாயப் படிவத்தையே உண்டாக்கும். படம் 2.17-ல், OB என்பது அச்சின் மீது செங்குத்தாக உள்ள பொருள் எனக் கொள்ளவும். பொருளிலிருந்து அச்சிற்கு இணையாகச் சென்று ஆடியில் விழும்



படம் 2,17.

கதிர் BA, ஆடிமையத்தில் விழும் கதிர் BP ஆகியவைகளைக் கருதவும். எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அவை ஆடிக்கு முன்னால் சந்திப்பதில்லை. எனவே அவைகளைப் பின்நோக்கி நீட்ட, M-ல் வெட்டிக் கொள்ளட்டும். M-ன் வழியாக அச்சிற்கு IM என்னும் குத்துக் கோடு வரைந்தால் IM தான் OB-யின் படிவம்.

அச்சிற்கு AN என்னும் குத்துக்கோட்டை வரையவும். முக்கோணங்கள் ANF, IMF இரண்டும் ஒத்த கோணங்கள்.

எனவே,

$$\frac{AN}{IM} = \frac{NF}{IF} = \frac{PF}{IF} \qquad (1)$$

முக்கோணங்கள் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்

என்வே,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{PO}{PI} \qquad (2)$$

$AN = OB$ ஆகையால், சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{PF}{IF} = \frac{PO}{PI} \qquad (3)$$

$PF = f$, $PO = u$, $PI = v$ எனக் கொண்டு, சமன்பாடு (3)–ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{f}{f-v} = \frac{u}{v}$$

அல்லது $fv = uf - uv$

சமன்பாடு முழுவதையும் uvf — ஆல் வகுக்க

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f}$$

u நேர்க் குறியைக் கொண்டது. v, f இரண்டும் எதிர்க் குறியைக் கொண்டவை.

எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$ என ஆகும்.

2.21. பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் அல்லது பரிமாற்றுக் குவியங்கள்

முன் பகுதிகளில் பார்த்த முடிவுகளிலிருந்து உண்மைப் படிவம உண்டாகும் பொழுது படிவம் இருந்த நிலைக்குப் பொருளை மாற்றினால் பொருள் இருந்த நிலையில் படிவம் தோன்றும் என்பது தெளிவு. அதாவது O-வில் வைக்கப்படும் பொருள் I-யில் படி

வத்தை உண்டாக்கினல் பொருளை I-க்கு மாற்றினல் O-வில் படிவம் உண்டாகும். இப்பொழுது அச்சின் மீதுள்ள ஒரு சோடிப் புள்ளிகளான O, I இரண்டும் பரிமாற்று புள்ளிகள் அல்லது பரிமாற்றுக் குவியங்கள் (Conjugate points or Conjugate foci) எனப்படும்.

இந்த பரிமாற்றும் தன்மை மாயப் படிவம் உண்டாகும் பொழுதும் பொருந்தும். ஆனல் பொருளைப் படிவம் இருந்த நிலைக்கு மாற்ற இயலாது. இருந்த போதிலும் குழி ஆடியின் மீது விழும் கதிர்கள் I-யில் சந்திக்கின்றுற்போல் இருக்குமேயானல் அவை எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் O-வில் குவியும். இங்கு O-வில் உண்டாகும் உண்மைப் படிவத்திற்கு I-ஆனது மாயப் பொருளாக அமைகின்றது.

குவி ஆடியில் பரிமாற்றுத் தன்மைக்கு எந்த விதமான முக்கியத்துவமும் இல்லை. ஏனெனில், அது பொருளினுடைய எந்த நிலைக்கும் மாயப் படிவத்தையே உண்டாக்குகின்றது.

2.22. நியூட்டனின் சமன்பாடு

நியூட்டனின் சமன்பாடு ஒரு வில்லையின், குவிய தூரத்திற்கும் குவியத்திலிருந்து பொருள் படிவம் ஆகியவை உள்ள தூரத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொடர்பைக் கொடுக்கின்றது. இதன்படி ஆடி மையத்திலிருந்து பொருளுக்கும் படிவத்திற்குமான தூரத்தை அளப்பதற்குப் பதிலாக முக்கிய குவியத்திலிருந்து தூரங்கள் அளக்கப்படும்.

குவியத்திலிருந்து பொருள் உள்ள தூரம் x_1 எனில்,

$$x_1 = u - f$$

குவியத்திலிருந்து படிவம் உள்ள தூரம் x_2 எனில்,

$$x_2 = v - f$$

எனவே,

$$x_1 x_2 = (u - f)(v - f)$$

$$x_1 x_2 = uv - f(u + v) + f^2 \quad (1)$$

ஆனல்,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{u + v}{uv} = \frac{1}{f}$$

$$f(u + v) = vu$$

அல்லது, $uv - f(u + v) = 0 \quad (2)$

இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$x_1x_2 = f^2 \qquad (3)$$

சமன்பாடு-(3) நியூட்டனின் சமன்பாடு எனப்படும்.

2.23. நீளப் பெருக்கம்

படிவத்தின் நீளத்திற்கும், பொருளின் நீளத்திற்குமான விகிதம், நீளப் பெருக்கம் (Linear magnification) எனப்படும்.

படங்கள் 2.15, 2.16, 2.17 ஆகியவைகளிலிருந்து,

$\frac{OB}{IM} = \frac{PO}{PI}$ என்பது தெளிவு.

அதாவது,

$$\frac{\text{பொருளின் நீளம்}}{\text{படிவத்தின் நீளம்}} = \frac{\text{ஆடிமையத்திலிருந்து பொருள் இருக்கும் தூரம்}}{\text{ஆடிமையத்திலிருந்து படிவம் உள்ள தூரம்}}$$

எனவே, நீளப் பெருக்கம் m எனில்,

$$m = \frac{IM}{OB} = \frac{v}{u}$$

$$\text{அல்லது } m = \frac{v}{u}$$

இறுதிப் படிவம் மாயப் படிவமெனில், v எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும். எனவே $m = -\frac{v}{u}$ ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. குழி ஆடியொன்றின் முன்னால் 10 செ.மீ., தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருளொன்றின் படிவம் ஆடிக்குப் பின்னால் 30 செ.மீ., தொலைவில் ஏற்படுகின்றது. ஆடியின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

கணக்கின்படி,

$u = 10$ செ.மீ., ; $v = -30$ செ.மீ.,

$$\therefore \quad \frac{1}{10} + \frac{1}{-30} = \frac{1}{f}$$

எனவே,

$$\frac{3-1}{30} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad f = 15 \text{ செ.மீ.}$$

2. 50 செ.மீ., குவிய தூரம் கொண்ட குழியாடி ஒன்றின் முன்னுல் வைக்கப்படும் பொருளொன்றின் நீளத்தினைப் போன்று நான்கு மடங்கு நீளம் கொண்ட படிவத்தினைப் பெற, நீண்ட பொருள் வைக்கப்படவேண்டிய நிலையினைக் கணக்கிடுக.

உருப் பெருக்கமடைந்த உண்மையான படிவம் அல்லது மாயப் படிவம் ஏற்பட இயலும்.

(அ) உண்மைப் படிவம் ஏற்படுதல் :

$$m = 4 = \frac{v}{u}$$

அல்லது $v = 4u$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{4u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{4u} = \frac{1}{50}$$

$$\therefore \quad u = \frac{250}{4} = 62{\cdot}5 \text{ செ.மீ.,}$$

பொருள் ஆடிக்கு முன்னுல் 62.5 செ.மீ., தூரத்தில் வைக்கப் படுதல் வேண்டும்.

(ஆ) மாயப்படிவம் உண்டாதல் :

v எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

எனவே, $m = -\frac{v}{u} = 4$

அல்லது $v = -4u$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} - \frac{1}{4u} = \frac{1}{50}$$

$$\frac{4-1}{4u} = \frac{1}{50}$$

$$4u = 150$$

$$\therefore \quad u = 37{\cdot}5 \text{ செ.மீ.}$$

எனவே ஆடிக்கு முன்னுல் 62·5 செ.மீ., தொலேவில் பொருள் இருக்கும்பொழுது நான்கு முறை உருப்பெருக்கடைந்த உண்மைப் படிவமும், 37·5 செ.மீ., தொலேவில் பொருள் இருக்கும்பொழுது நான்கு முறை உருப்பெருக்கடைந்த மாயப்படிவமும் உண்டாகும்.

3. வளைவு ஆரம் 40 செ.மீ., கொண்ட குழியாடியொன்றினால் ஏற்படுத்தப்படும் படிவம் ஆடியிலிருந்து 30 செ.மீ. தொலைவில் அமையுமாறு (அ) உண்மைப்படிவம், (ஆ) மாயப்படிவம் ஆகியயவை ஏற்படும்பொழுது, பொருள் ஆடியிலிருந்து அமையும் தொலைவுகளைக் கணக்கிடு.

(அ) உண்மைப் படிவம் உண்டாதல் ;

$R = 40$ செ.மீ., ; எனவே $f = 20$ செ.மீ., $v = 30$ செ.மீ. (உண்மைப் படிவத்திற்கு).

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{30} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{60}$$

$$u = 60 \text{ செ.மீ.,}$$

(ஆ) மாயப்படிவம் உண்டாதல் :

$$v = -30 \text{ செ.மீ.,}$$

எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{-30} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{3+2}{60} = \frac{1}{12}$$

$$\therefore \quad u = 12 \text{ செ.மீ.,}$$

பொருள் உண்மைப் படிவம் ஏற்பட ஆடியிலிருந்து 60 செ மீ., தொலைவிலும், மாயப் படிவத்தித்கு 12 செ.மீ., தொலைவிலும் அமைந்திருத்தல் வேண்டும்.

(4) குழியாடியொன்று அதன் அச்சின்மீது வைக்கப்பட்டுள்ள பொருளொன்றின் இரண்டு மடங்கு உருப்பெருக்கமடைந்த படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றது. ஆடியை நோக்கிப் பொருள் 10 செ.மீ., நகர்த்தப்பட்ட பிறகு, உருப்பெருக்கம் 3 மடங்கு ஆகின்றது. குழியாடியின் வளைவு ஆரத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

இரண்டு மடங்கு உருப்பெருக்கம் அடையும்பொழுது u, v என்பவைகளை முறையே பொருளுக்கும் ஆடிக்கும், படிவத்திற்கும் ஆடிக்குமிடைப்பட்ட தூரங்கள் எனக் கொள்வோம்,

$$\frac{v}{u} = 2 \text{ அல்லது } v = 2u$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2u} + \frac{1}{u} = \frac{3}{2u} \qquad (1)$$

பொருள் 10 செ. மீ. தொலைவு முன்னோக்கி நகர்த்தப்படுவதினால் உருப்பெருக்கம் 3 மடங்கு ஆகின்றது.

எனவே,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{(u-10)} + \frac{1}{3(u-10)} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{3}{2u} = \frac{1}{(u-10)} + \frac{1}{3(u-10)}$$

$$= \frac{4}{3(u-10)}$$

அல்லது $9u - 8u = 90$

அல்லது $u = 90$ செ. மீ.

சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{180} + \frac{1}{90}$$

$$= \frac{1}{60}$$

அல்லது $f = 60$ செ. மீ.

∴ வளைவு ஆரம் $R = 2f$

எனவே $R = 120$ செ. மீ.

(ஏ) 30 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குவியாடியொன்றிலிருந்து 120 செ. மீ. தொலைவில் 3 செ. மீ. உயரம் கொண்ட பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஏற்படும் படிவத்தின் உயரத்தைக் கணக்கிடுக.

குறியீட்டு மரபுப்படி,

குவியாடியின் குவிய தூரம் $f = -30$ செ. மீ.

$u = 120$ செ. மீ.

$$\therefore \frac{1}{120} + \frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v} = -\frac{1}{30} - \frac{1}{120}$$

$$= -\frac{1}{24}$$

அல்லது $v = -24$ செ. மீ. (மாயப் படிவம்)

உருப்பெருக்கம் $= \frac{v}{u} = \frac{24}{120} = \frac{1}{5}$

$\therefore$ படிவ அளவு $= 3 \times \frac{1}{5}$

$= 0{\cdot}6$ செ. மீ.

(6) குவிய தூரம் f அலகுகள் கொண்ட குவியாடியொன்று பொருளின் நீளத்தில் $\frac{1}{n}$ அளவு கொண்ட படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றது. பொருளுக்கும் ஆடிக்குமான தூரம் $u = (n-1)f$ எனக் காட்டுக.

குவியாடியில் மாயப் படிவம்தான் உண்டாகும். எனவே, படிவத்திற்கும் ஆடிக்குமிடையேயான தூரம் $-v$ ஆகும்.

உருப்பெருக்கம் $= \frac{-v}{u} = \frac{1}{n}$ ஆகும்.

எனவே $u = -nv$; $v = -\frac{u}{n}$ ஆகும்.

குவிய தூரமும் எதிர்க் குறியைக் கொண்டது.

$$\therefore -\frac{1}{f} = +\frac{1}{u} - \frac{1}{u/n}$$

$$= \frac{1}{u} - \frac{n}{u}$$

$$\therefore -\frac{1}{f} = \frac{1-n}{u}$$

$$\therefore u = -f(1-n)$$

அல்லது $u = f(n-1)$ ஆகும்.

வினாக்கள்

1. தனி ஒளியியல் நெம்புகோலின் தத்துவத்தையும், அமைப்பையும் விளக்குக. கண்ணாடித் தகடொன்றின் தடிமத்தை எவ்வாறு காணலாம் என்பதைக் கொள்கையுடன் விளக்கவும்.

2. இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோலொன்றினைக் கொண்டு கண்ணாடித் தகடொன்றின் தடிமத்தையும் கோளப் பரப்பொன்றின் வளைவு ஆரத்தையும் காணும் விதத்தைக் கொள்கையுடன் விவரிக்க.

3. செக்ஸ்டன்ட் ஒன்றின் அமைப்பையும், வேலை செய்யும் விதத்தையும் விவரிக்கவும்.

4. அச்சருகு கதிர்கள் கோளக ஆடியின்மீது படும்பொழுது $f = R/2$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

5. குழியாடி ஒன்றுக்கான $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்னும் சமன்பாட்டினைப் பெறுக.

6. கோள ஆடியின் எதிரொளிப்பிலிருந்து ஒரு பொருளின் உருப்பெருக்கம் காண்பதெவ்வாறு என்பதை விளக்கவும்.

7. குழியாடியின் முன்னால் 10 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருளொன்றிற்கான நேரான படிவம் ஆடியிலிருந்து 20 செ. மீ. தொலைவில் ஏற்படுகின்றது. ஆடியின் முக்கிய குவியம் அமையுமிடத்தைக் கணக்கிடுக. (20 செ. மீ.)

8. 60 செ. மீ. வளைவு ஆரம் கொண்ட குழியாடியின் முன்னால் 90 செ. மீ. தொலைவில் திரையொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. திரையின்மீது தெளிவான படிவம் ஏற்பட பொருள் வைக்கப்படவேண்டிய இடத்தைக் காண்க. (45 செ.மீ.)

9. குழியாடியொன்றின் வளைவு ஆரம் 40 செ. மீ. ஆடியின் முன்னால் பொருள் வைக்கப்படும்பொழுது இரு மடங்கு

உருப்பெருக்கம் கொடுக்கக்கூடிய இரண்டு நிலைகளைக் கணக்கிடுக.

[30 செ. மீ. உண்மைப் படிவம்; 10 செ.மீ. மாயப்படிவம்]

10. குழியாடியொன்றின் முன்னால் பொருளொன்று வைக்கப் படும்பொழுது மூன்றுமுறை உருப் பெருக்கமடைந்த படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றது. பொருளை 5 செ. மீ. தூரம் ஆடிக்கு அப்பால் நகர்த்திய பிறகு 2·5 மடங்கு உருப்பெருக்கமடைந்த படிவம் கிடைக்கின்றது. ஆடியின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக. (75 செ. மீ.)

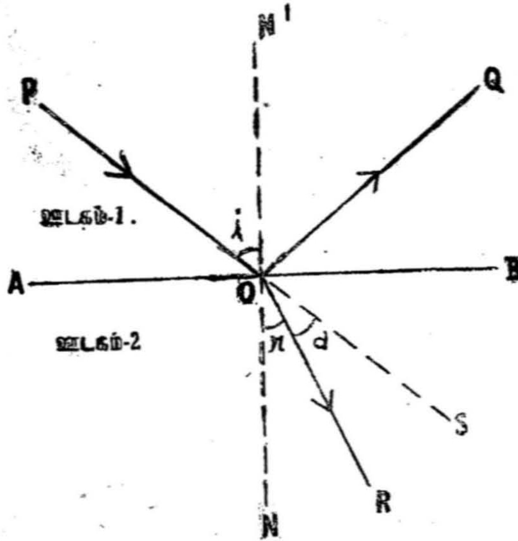
உருப்பெருக்கம் கொடுக்கக்கூடிய இரண்டு நிலைகளைக் கணக்கிடுக.

[30 செ. மீ. உண்மைப் படிவம்; 10 செ.மீ. மாயப்படிவம்]

10. குழியாடியொன்றின் முன்னால் பொருளொன்று வைக்கப் படும்பொழுது மூன்றுமுறை உருப் பெருக்கமடைந்த படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றது. பொருளை 5 செ. மீ. தூரம் ஆடிக்கு அப்பால் நகர்த்திய பிறகு 2·5 மடங்கு உருப்பெருக்கமடைந்த படிவம் கிடைக்கின்றது. ஆடியின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக. (75 செ. மீ.)

3. சமதளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல்

3.1. ஒளிபுகும் ஊடகம் ஒன்றிலிருந்து மற்ருெரு ஒளிபுகும் ஊடகத்திற்குள் செல்லும் ஒளிக்கதிர் ஒன்றைக் கருதுவோம். அவ்விரு ஊடகங்களையும் பிரிக்கும் தளத்தில், ஒளிக்கதிரின் ஒரு பகுதி, முதல் ஊடகத்திலேயே எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. ஒளிக்கதிரின் பெரும்பகுதி இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் அனுப்பப்படுகின்றது. இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் செல்லும் இப்பகுதி, முதல் ஊடகத்



படம் 3.1. ஒளிவிலகல்

தில் வந்த திசையிலேயே செல்லாமல் திசைமாற்றம் அடைகின்றது. ஆனால் கதிரானது, பிரிதளத்திற்குக் குத்தாக விழும்பொழுது மட்டும் திசை மாற்றம் அடைவதில்லை. இத் திசைமாற்றம் அல்லது

பிரிதளத்தில் (Surface of separation) ஒளிக்கதிர் வளைதல், ஒளி விலகல் (Refraction of light) எனப்படும்.

படம் 3.1-ல் பிரிதளம் AB-ன்மீது படும் கதிர் PO ஆகும். இக் கதிரின் OQ என்னும் பகுதி முதல் ஊடகத்திலேயே எதிரொளிக்கப் படுகின்றது. இரண்டாவது ஊடகத்தில் செல்லும் கதிரின் பகுதி OR ஆகும். படுபுள்ளி O-வில் NN' என்னும் குத்துக்கோடு வரையவும். படுகதிர் PO, NN'-வுடன் ஏற்படுத்தும் $\angle PON' = \angle i$ படுகோணம் எனப்படும். விலகுகதிர் OR, NN'-வுடன் ஏற்படுத்தும் $\angle NOR = \angle r$ விலகுகோணம் எனப்படும். ஊடகம் – 2 இல்லாவிடில் கதிர் சென்றிருக்கக்கூடிய திசையை OS காட்டுகின்றது. எனவே OS-க்கும், OR-க்கும் இடைப்பட்ட $\angle ROS = \angle d$ திசை மாற்றக் கோணம் எனப்படும்.

இங்கு ஊடகம் – 1 அடர்வு குறைந்தது என்றும், ஊடகம் - 2 அடர்வு மிகுந்தது என்றும் கொள்கின்றோம். எனவே, ஒளிக் கதிரானது அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தில் இருந்து அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்திற்குச் செல்லும்பொழுது, விலகுகதிர் குத்துக்கோட்டை நோக்கி வளையும். அடர்வுமிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறை ஊடகத்திற்கு ஒளிக்கதிர் சென்றால், குத்துக்கோட்டை விட்டு விலகிச் செல்லும்.

3.2 ஒளிவிலகல் விதிகள் :

இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பிரிதளத்தில் ஏற்படும் ஒளி விலகல், ஸ்னெல் (Snell) கூறிய இரண்டு விதிகளின்படி நடைபெறுகின்றது.

விதி : 1.

படுகதிர், விலகுகதிர், படுபுள்ளியில் வரையப்பட்டக் குத்துக் கோடு ஆகியவை ஒரே தளத்தில் அமையும்.

விதி : 2.

ஒற்றை நிறமுடைய ஒளிக்கதிர், குறிப்பிட்ட இரு ஊடகங்களுக் கிடையே ஒளிவிலகல் அடையும்பொழுது படுகோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கும், விலகு கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கும் இடைப் பட்ட விகிதம் ஒரு மாறிலி (Constant) ஆகும்.

அதாவது,

$$\frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \text{ஒரு மாறிலி.}$$

இந்த மாறிலி முதல் ஊடகத்தைப் பொறுத்த இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் (Refractive Index) எனப்படும். உதாரணமாக முதல் ஊடகம் காற்ருகவும், இரண்டாவது ஊடகம் கண்ணுடியாகவும் இருந்தால், ஒளிவிலகல் எண்ணை ${}^{a}\mu_{g}$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். இம்மதிப்பு ஒளியினுடைய நிறத்தைப் பொறுத்து சிறிதளவு மாறும். கிரௌன் கண்ணுடியில் (Crown glass), காற்றிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர் விலகல் அடையும்பொழுது μ–வின் மதிப்பு சிகப்பு நிறத்திற்கு 1·586-ம், மஞ்சள் நிறத்திற்கு 1.589 ம், நீல நிறத்திற்கு 1.596-ம் ஆக மாறும். வெள்ளொளி பயன்படும்பொழுது, நிறத்திற்கேற்ப அமையும் பண்பைக் கருதாமல், நிற மாலையின் மையத்தில் அமையும் மஞ்சள் நிறத்திற்கான ஒளிவிலகல் எண்ணையே μ–வின் பொதுவான மதிப்பாகக் கொள்வது வழக்கம்,

எனவே ${}^{a}\mu_{g}$ என்பது காற்றைப் பொறுத்த கண்ணுடியின் ஒளிவிலகல் எண் எனப்படும். இதேபோல் காற்றைப் பொறுத்த நீரின் ஒளிவிலகல் எண் ${}^{a}\mu_{w}$ எனக் குறிக்கப்படும். இதன் மதிப்பு 1.33 ஆகும்.

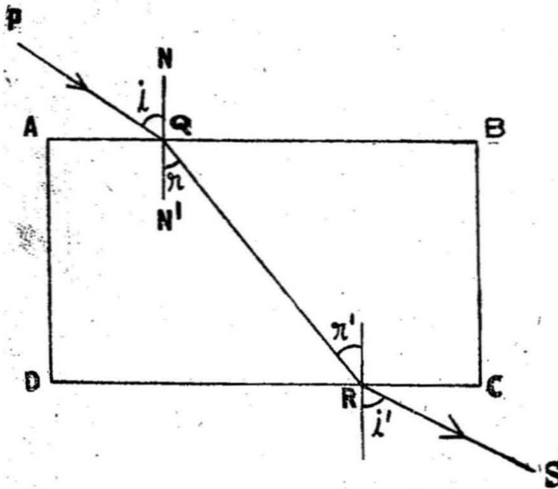
மாருக தண்ணீரிலிருந்து ஒளிக்கதிர் காற்றுக்கு வந்தால் ஒளிவிலகல் எண் ${}^{w}\mu_{a}$ எனக் குறிக்கப்படும். இதன் மதிப்பு 0·75 ஆகும். இது 1.33 ன் தலைகீழ் விகித (Reciprocal) மதிப்பு ஆகும். எனவே, ஒளிக்கதிரானது திருப்பப்பட்டால் மீண்டும், வந்த பாதையிலேயே செல்லும் என்பது பெறப்படும். தவிர முதலில் விலகல் கோணமாக இருந்தது, இப்பொழுது படுகோணமாகவும், படுகோணமாக இருந்தது விலகல் கோணமாகவும் அமையும் என்பது தெளிவு. இதுவே ஒளியினுடைய நேர் - எதிர்ப் பண்பின் தத்துவம் (Principle of reversibility) எனப்படும்.

சில முக்கியமான பொருள்களின் ஒளிவிலகல் எண்கள் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பொருள்	ஒளிவிலகல் எண்
தண்ணீர்	1.33
கிரௌன் கண்ணுடி	1.52
கார்பன்-டை-சல்பைடு	1.63
வைரம்	2.42

3.3 இணைப்பக்கங்களுடன் கூடிய ஊடகத்தில் ஒளிவிலகல்

ABCD என்பது காற்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு கனச் செவ்வக ஊடகம் (படம் : 3.2). பிரிதளம் *AB*-ன்மீது விழும் ஒளிக்கதிர் *PQ*, ஊடகத்தினுள் QR திசையில் விலகல் அடைகின்றது எனக் கொள்வோம்.



படம் 3.2.

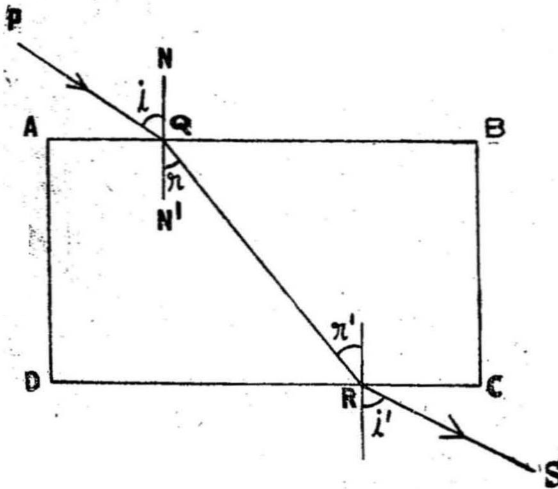
படுபுள்ளி *Q*-வில் வரையப்பட்ட குத்துக்கோடு NN' எனில் $\angle PQN = i$ படுகோணமாகவும், $\angle RQN' = r$ விலகு கோணமாகவும் அமையும். விலகுகதிர் *QR* பிரிதளம் *CD*-ன்மேல் படுகோணம் r' இருக்குமாறு விழுகின்றது. விலகலுக்குப் பின்னர் ஒளிக்கதிர், *RS* என்னும் திசையில் செல்கின்றது. *RS* என்பது விடுகதிராகவும், கோணம் i' விடுகோணமாகவும் அமைகின்றன. பிரிதளங்கள் *AB*-யும் *CD*-யும் இணைப் பக்கங்களாகவும், *AB*-க்கு மேலும் *CD*-க்குக் கீழும் காற்று ஊடகமாக இருப்பதாலும், விடுகதிர் *RS*, படுகதிர் *PQ*-க்கு இணையாக அமையும். எனவே. ஊடகத்தினுள் புகுந்து வெளிவரும் பொழுது பக்கப் பெயர்ச்சி மட்டுமே ஏற்படும். திசை மாற்றம் ஏற்படாது. எனவே

$$i = i' \; ; \; r = r' \text{ ஆக அமையும்.}$$

பிரிதளம் *AB*-யில் நிகழும் ஒளிவிலகலைக் கருத, ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $_a\mu_g = \dfrac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$ ஆகும். பிரிதளம் CD-யில்,

3.3 இணைப்பக்கங்களுடன் கூடிய ஊடகத்தில் ஒளிவிலகல்

ABCD என்பது காற்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு கனச் செவ்வக ஊடகம் (படம் : 3.2). பிரிதளம் *AB*-ன்மீது விழும் ஒளிக்கதிர் *PQ*, ஊடகத்தினுள் QR திசையில் விலகல் அடைகின்றது எனக் கொள்வோம்.



படம் 3.2.

படுபுள்ளி *Q*-வில் வரையப்பட்ட குத்துக்கோடு *NN'* எனில் $\angle PQN = i$ படுகோணமாகவும், $\angle RQN' = r$ விலகு கோணமாகவும் அமையும். விலகுகதிர் *QR* பிரிதளம் *CD*-ன்மேல் படுகோணம் r' இருக்குமாறு விழுகின்றது. விலகலுக்குப் பின்னர் ஒளிக்கதிர், *RS* என்னும் திசையில் செல்கின்றது. *RS* என்பது விடுகதிராகவும், கோணம் i' விடுகோணமாகவும் அமைகின்றன. பிரிதளங்கள் *AB*-யும் *CD*-யும் இணைப் பக்கங்களாகவும், *AB*-க்கு மேலும் *CD*-க்குக் கீழும் காற்று ஊடகமாக இருப்பதாலும், விடுகதிர் *RS*, படுகதிர் *PQ*-க்கு இணையாக அமையும். எனவே. ஊடகத்தினுள் புகுந்து வெளிவரும் பொழுது பக்கப் பெயர்ச்சி மட்டுமே ஏற்படும். திசை மாற்றம் ஏற்படாது. எனவே

$$i = i' \; ; \; r = r' \text{ ஆக அமையும்.}$$

பிரிதளம் *AB*-யில் நிகழும் ஒளிவிலகலைக் கருத, ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $_a\mu_g = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$ ஆகும். பிரிதளம் CD-யில்,

நிகழும் ஒளிவிலகலைக் கருத, ஊடகத்தைப் பொறுத்த காற்றின் விலகல் எண்

$$^{g}\mu_{a} = \frac{\text{சைன் } r'}{\text{சைன் } i'} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால்

$$i = i' \; ; \; r = r'$$

$$\text{எனவே} \quad ^{g}\mu_{a} = \frac{\text{சைன் } r'}{\text{சைன் } i'} = \frac{\text{சைன் } r}{\text{சைன் } i} = \frac{1}{^{a}\mu_{g}}$$

$$\text{எனவே,} \quad ^{g}\mu_{a} = \frac{1}{^{a}\mu_{g}}.$$

3.4. சமதளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல் அடையும்பொழுது ஏற்படும் பக்கப் பெயர்ச்சி (Lateral displacement)

P
i
Q
A
B
i-r
r
t
r
T
D
C
N
R
i
U
S

படம் 3.3. ஒளிக்கதிர் ஒன்றின் பக்கப் பெயர்ச்சி

AB என்ற பிரிதளத்தின்மீது படும் PQ என்னும் ஒளிக்கதிர் விலகல் அடைந்து, QR திசையில் ஊடகத்தினுள் செல்கின்றது. விலகல் கதிர் QR ஆனது, CD என்ற பிரிதளத்தில் விலகல் அடைந்து RS என்னும் திசையில் செல்கின்றது. ஊடகம் மாருமல் இருந்தால், கதிர், PQU என்ற திசையில் சென்றிருக்கும். படத்தில் PQ-வும், RS-வும் இணையாக உள்ளன. R-ன் வழியாக PQU-வுக்கு வரையப் படும் குத்துக்கோடு; PQU-வை T-ல் சந்திக்கட்டும். RT என்பது

கதிர் PQ அடைந்த பக்கப் பெயர்ச்சி ஆகும். இரண்டாவது ஊடகத்தின் தடிமம் 't' எனக் கொண்டால்,

$\triangle$ QRT-யில்,

$$\frac{RT}{QR} = \text{சைன் } (i - r)$$

$$RT = QR \text{ சைன் } (i - r) \qquad (1)$$

மேலும் $\triangle$ QNR-ல்

$$\frac{QR}{t} = \frac{1}{\text{காஸ் } r}$$

$$\because \quad QR = \frac{t}{\text{காஸ் } r} \qquad (2)$$

$$\text{பக்கப் பெயர்ச்சி } RT = \frac{t}{\text{காஸ் } r} \text{ சைன் } (i - r) \qquad (3)$$

இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ எனக் கொண்டால்,

$$\mu = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$$

$$\text{அல்லது சைன் } r = \frac{\text{சைன் } i}{\mu} \qquad (4)$$

$$\text{எனவே காஸ் } r = \sqrt{1 - \frac{\text{சைன்}^2 i}{\mu^2}} \qquad (5)$$

$$\text{மேலும், டேன் } r = \frac{\text{சைன் } r}{\text{காஸ் } r} = \frac{\text{சைன் } i}{\sqrt{\mu^2 - \text{சைன்}^2 i}} \qquad (6)$$

சமன்பாடு (3)-ல் இருந்து

$$RT = \frac{t}{\text{காஸ் } r} \text{ சைன் } (i - r)$$

$$= \frac{t\,(\text{சைன் } i \text{ காஸ் } r - \text{காஸ் } i \text{ சைன் } r)}{\text{காஸ் } r}$$

$$= t\,(\text{சைன் } i - \text{காஸ் } i \text{ டேன் } r)$$

கதிர் PQ அடைந்த பக்கப் பெயர்ச்சி ஆகும். இரண்டாவது ஊடகத்தின் தடிமம் 't' எனக் கொண்டால்,

$\triangle$ QRT-யில்,

$$\frac{RT}{QR} = \text{சைன்}\ (i - r)$$

$$RT = QR\ \text{சைன்}\ (i - r) \qquad (1)$$

மேலும் $\triangle$ QNR-ல்

$$\frac{QR}{t} = \frac{1}{\text{காஸ்}\ r}$$

$$\because\ QR = \frac{t}{\text{காஸ்}\ r} \qquad (2)$$

$$\text{பக்கப் பெயர்ச்சி}\ RT = \frac{t}{\text{காஸ்}\ r}\ \text{சைன்}\ (i - r) \qquad (3)$$

இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ எனக் கொண்டால்,

$$\mu = \frac{\text{சைன்}\ i}{\text{சைன்}\ r}$$

$$\text{அல்லது சைன்}\ r = \frac{\text{சைன்}\ i}{\mu} \qquad (4)$$

$$\text{எனவே காஸ்}\ r = \sqrt{1 - \frac{\text{சைன்}^2 i}{\mu^2}} \qquad (5)$$

$$\text{மேலும், டேன்}\ r = \frac{\text{சைன்}\ r}{\text{காஸ்}\ r} = \frac{\text{சைன்}\ i}{\sqrt{\mu^2 - \text{சைன்}^2 i}} \qquad (6)$$

சமன்பாடு (3)-ல் இருந்து

$$RT = \frac{t}{\text{காஸ்}\ r}\ \text{சைன்}\ (i - r)$$

$$= \frac{t\ (\text{சைன்}\ i\ \text{காஸ்}\ r - \text{காஸ்}\ i\ \text{சைன்}\ r)}{\text{காஸ்}\ r}$$

$$= t\ (\text{சைன்}\ i - \text{காஸ்}\ i\ \text{டேன்}\ r)$$

சமன்பாடு (6)-ல் இருந்து டேன் r-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$RT = t\left(\text{சைன் } i - \frac{\text{காஸ் } i - \text{சைன் } i}{\sqrt{\mu^2 - sin^2 i}}\right)$$

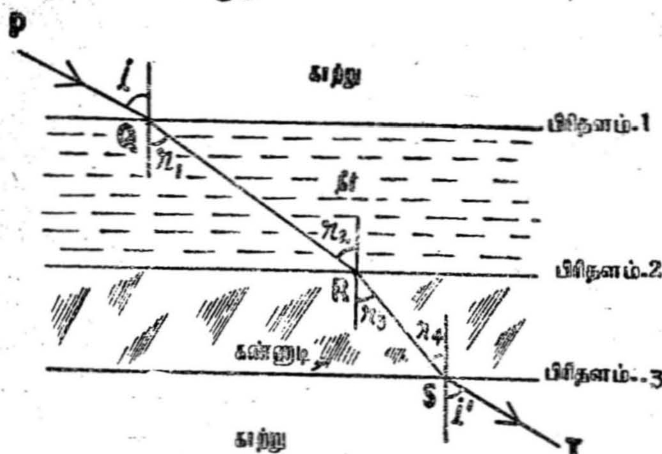
$$= t\left(1 - \frac{\text{காஸ் } i}{\sqrt{\mu^2 - sin^2 i}}\right)\text{சைன் } i. \quad (7)$$

சமன்பாடு (7)-லிருந்து பக்கப் பெயர்ச்சியானது ஊடகத்தின் தடிமம், படுகோணம் i, ஒளிவிலகல் எண் μ ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமையும் என்பது தெளிவு.

3.5. சமதள இணைபரப்பு ஊடகங்களின் வழியே ஒளிவிலகல்

காற்று, நீர், கண்ணாடி என்ற மூன்று ஊடகங்களின் வழியே ஓர் ஒளிக்கதிர் விலகல் அடைவதைக் கவனிப்போம். படம் 3.4-ல் உள்ளது போன்று, காற்றிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர் PQ முதலில் பிரிதளம் 1-ல் விலகல் அடைந்து நீரினுள் புகுந்து, நீரிலிருந்து பிரிதளம் 2 ஐ அடைந்தவுடன் அதிலும் விலகல் அடைந்து கண்ணாடிக்குள் சென்று மீண்டும் பிரிதளம் 3-ல் விலகலடைந்து ST என்னும் விடுகதிராகக் காற்றில் வெளியேறுகின்றது. படுகதிரும், விடுகதிரும் ஒரே ஊடகமான காற்றில் இருப்பதால் அவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும். எனவே,

$i = i'$ ஆகும்.



படம் 3.4. இணைதள தொடர் ஊடகங்களில் ஒளிவிலகல்

பிரிதளங்கள் 1, 2, 3 இவைகளில் ஒளிவிலகல் அடையும் பொழுது ஒளிவிலகல் எண்களின் மதிப்புக்களை முறையே ${}^{a}\mu_{w}$, ${}^{w}\mu_{g}$, ${}^{g}\mu_{a}$ எனக் கொண்டால்.

$$ {}^{a}\mu_{w} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r_1} $$

$$ {}^{w}\mu_{g} = \frac{\text{சைன் } r_2}{\text{சைன் } r_3} $$

$$ {}^{g}\mu_{a} = \frac{\text{சைன் } r_4}{\text{சைன் } i'} $$

இந்த மூன்று சமன்பாடுகளையும் பெருக்கினல்,

$$ {}^{a}\mu_{w}, w\mu_{g}. \ {}^{g}\mu_{a} = \frac{\text{சைன் } t}{\text{சைன் } r_1} \cdot \frac{\text{சைன் } r_2}{\text{சைன் } r_3} \cdot \frac{\text{சைன் } r_4}{\text{சைன் } i'} \qquad (1) $$

என்பது கிடைக்கும்.

பிரிதளங்களின் பரப்புக்கள் எல்லாம் சமதளமாக இருப்பதால் படுபுள்ளிகளில் வரையப்படும் எல்லா குத்துக்கோடுகளும் ஒன்றுக் கொன்று இணையானவைகளாகும். எனவே,

$$ r_1 = r_2 \ ; \ r_3 = r_4. \quad \text{மேலும் } i = i' $$

எனவே,

சமன்பாடு (1)-ன் வலது பக்கம் பெருக்கற் தொகையின் மதிப்பு ஒன்று ஆகும்.

அதாவது,

$$ {}^{a}\mu_{w}. \ w\mu_{g}. \ {}^{g}\mu_{a} = 1 $$

அல்லது

$$ w\,\mu_{g} = \frac{1}{{}^{a}\mu_{w} \ {}^{g}\mu_{a}} $$

$$ = \frac{{}^{a}\mu_{g}}{{}^{a}\mu_{w}} $$

எனவே, காற்றைப் பொறுத்த கண்ணாடியினுடைய ஒளிவிலகல் எண்ணும், நீரின் விலகல் எண்ணும் தெரிந்தால், நீரைப் பொறுத்த கண்ணாடியின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம். உதாரணமாகக் காற்றைப் பொறுத்த நீரினுடை

யவும், கண்ணாடியினுடையவும், ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே 1·33, 1·6 எனில்,

$$ _{w}\mu_{g} = \frac{_{a}\mu_{g}}{_{a}\mu_{w}} = \frac{1\cdot6}{1\cdot33} = 1\cdot2 $$

இதேபோல்,

$$ _{g}\mu_{w} = \frac{1\cdot33}{1\cdot6} = 0\cdot83 $$

எனவே,

இணை பிரிதளங்களைக் கொண்ட பல ஊடகங்களின் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிரொன்றுக்கு, முதல் ஊடகமும், இறுதி ஊடகமும் ஒன்றேயாகுமெனில்,

$_{1}\mu_{2} \cdot \ _{2}\mu_{3}, \ _{3}\mu_{4} \ldots\ldots\ldots\ldots N\mu_{1} = 1$ என்று காட்டலாம்.

மூன்று ஊடகங்களை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டால்,

$$ _{1}\mu_{2} \cdot \ _{2}\mu_{3} \cdot \ _{3}\mu_{1} = 1 $$

அல்லது,

$$ _{1}\mu_{2} \cdot \ _{2}\mu_{3} \cdot = \frac{1}{_{3}\mu_{1}} = {_{1}\mu_{3}} $$

அதாவது,

$$ _{1}\mu_{2} \cdot \ _{2}\mu_{3} = {_{1}\mu_{3}} $$

$$ _{2}\mu_{3} = \frac{_{1}\mu_{3}}{_{1}\mu_{2}} $$

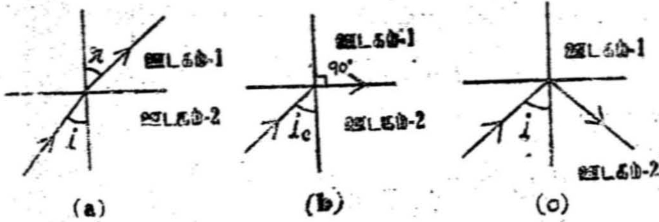
ஊடகமொன்றின் வெற்றிடத்தைப் பொறுத்த ஒளிவிலகல் எண்தான் சார்பிலாதது ஆகும். வெற்றிடத்தைப் பொறுத்த, காற்றின் ஒளிவிலகல் எண் 1·0003 என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஆனால், நடைமுறையில் காற்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணையே சார்பிலாதது என்று கொண்டு அதன் மதிப்பை ஒன்று எனக் கொள்கின்றோம்.

எனவே ஊடகம் — 1 காற்று எனில்,

$$ _{2}\mu_{3} = \frac{\mu_{3}}{\mu_{2}} \text{ ஆகும்.} $$

3.6 முழு அக எதிரொளிப்பு (Total Internal Reflection)

ஸ்னெல்லின் இரண்டாவது ஒளிவிலகல் விதியின்படி, $\mu = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$ என்பது தெரிந்தது. இதன்படி படுகோணம் அதிகரித்தால், விலகுகோணமும் அதிகரிக்கும் என்பது தெளிவாகின்றது. மேலும் அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறைந்த ஊடகத்திற்கு ஒளிக்கதிர் சென்றால் அது குத்துக் கோட்டை விட்டு விலகிச் செல்லும். இதனால் படுகோணத்தைவிட விலகுகோணம் அதிகமாக இருக்கும். இப்பொழுது படுகோணத்தை அதிகரித்தால் விலகுகோணம் மிக வேகமாக அதிகரிக்கின்றது. படுகோணம் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பை அடையும்பொழுது விலகுகோணம் 90° ஆகவும், விலகுகதிர், பிரிதளத்தை ஒட்டியும் வெளியேறுகின்றது. [படம் 3.5 (b)]. இவ்வாறு அடர்வுமிகு ஊடகத்தில் எந்தப் படுகோணத்திற்கு விலகுகோணம் 90° ஆக உள்ளதோ, அந்தப் படுகோணம் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் (Critical angle) எனப்படும்.



படம் 3.5. முழு அக எதிரொளிப்பு

படுகோணம் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகரிக்கப்பட்டால் ஒளிவிலகல் ஏற்படாமல், ஒளிக்கதிர் முழுவதும் அந்த அடர்மிகு ஊடகத்தினுள்ளேயே எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இவ்வாறு ஏற்படும் நிகழ்வு முழு அக எதிரொளிப்பு (Total Internal Reflection) எனப்படும். [படம் 3.5 (c)].

ஒளிக்கதிர் புறப்படும் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ என்றும் மாறுநிலைக் கோணம் c என்றும் கொண்டால் படம் 3.5 (b)-யிலிருந்து,

$$_2\mu_1 = \frac{\text{சைன் } c}{\text{சைன் } 90}$$

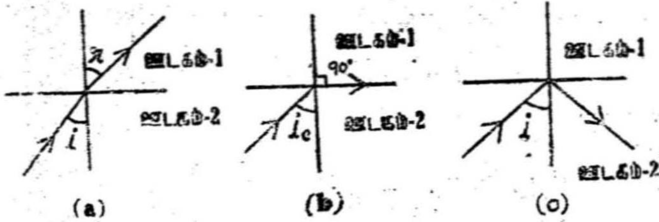
$$\therefore \, ^1\mu_2 = \frac{\text{சைன் } 90}{\text{சைன் } c}$$

$$= \frac{1}{\text{சைன் } c}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{சைன் } c}$$

3.6. முழு அக எதிரொளிப்பு (Total Internal Reflection)

ஸ்னெல்லின் இரண்டாவது ஒளிவிலகல் விதியின்படி, $\mu = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$ என்பது தெரிந்தது. இதன்படி படுகோணம் அதிகரித்தால், விலகுகோணமும் அதிகரிக்கும் என்பது தெளிவாகின்றது. மேலும் அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறைந்த ஊடகத்திற்கு ஒளிக்கதிர் சென்றால் அது குத்துக் கோட்டை விட்டு விலகிச் செல்லும். இதனால் படுகோணத்தைவிட விலகுகோணம் அதிகமாக இருக்கும். இப்பொழுது படுகோணத்தை அதிகரித்தால் விலகுகோணம் மிக வேகமாக அதிகரிக்கின்றது. படுகோணம் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பை அடையும்பொழுது விலகு கோணம் 90° ஆகவும், விலகுகதிர், பிரிதளத்தை ஒட்டியும் வெளியேறுகின்றது. [படம் 3.5 (b)]. இவ்வாறு அடர்வுமிகு ஊடகத்தில் எந்தப் படுகோணத்திற்கு விலகுகோணம் 90° ஆக உள்ளதோ, அந்தப் படுகோணம் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் (Critical angle) எனப்படும்.



படம் 3.5. முழு அக எதிரொளிப்பு

படுகோணம் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகரிக்கப்பட்டால் ஒளிவிலகல் ஏற்படாமல், ஒளிக்கதிர் முழுவதும் அந்த அடர்மிகு ஊடகத்தினுள்ளேயே எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இவ்வாறு ஏற்படும் நிகழ்வு முழு அக எதிரொளிப்பு (Total Internal Reflection) எனப்படும். [படம் 3.5 (c)].

ஒளிக்கதிர் புறப்படும் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ என்றும் மாறுநிலைக் கோணம் c என்றும் கொண்டால் படம் 3.5 (b)-யிலிருந்து,

$$2\,\mu_1 = \frac{\text{சைன் } c}{\text{சைன் } 90}$$

$$\therefore\ {}^1\mu_2 = \frac{\text{சைன் } 90}{\text{சைன் } c}$$

$$= \frac{1}{\text{சைன் } c}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{சைன் } c}$$

முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்படுவதற்கான நிபந்தனைகள் :

1. ஒளிக்கதிர் அடர்வுமிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறைந்த ஊடகத்திற்குச் செல்ல வேண்டும்.

2. பிரிதளத்தில் படுகோணம், அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் மாறு நிலைக் கோணத்தின் (Critical angle) மதிப்பைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

3.7. முழு அகப் எதிரொலிப்பினால் ஏற்படும் சில நிகழ்வுகள் :

(அ) கானல் நீர் :

முழு அக எதிரொளிப்பிற்கு வளி மண்டலத்தில் (Atmospheric air) ஏற்படும் கானல் நீர் (Mirage) ஒரு சிறந்த உதாரணமாகும். வெப்பம் மிகுந்த நாட்களில் பாலைவனத்தின் பரந்த மணற் பரப்பு மிக அதிகமாக வெப்பமடையும். மணற் பரப்பின் வெப்ப மிகுதியால் அதை ஒட்டியுள்ள காற்று அடுக்குகளின் வெப்ப நிலை உயருகின்றது. இவற்றின் வெப்ப நிலை அவைகளுக்கு மேலுள்ள அடுக்குகளைவிட மிகுதியாக உள்ளது. இதனால் ஒட்டினாற்போல் உள்ள அடுக்குகளின் ஒளிவிலகல் எண்கள் குறைவாகவும், மேலுள்ள அடுக்குகளின் ஒளிவிலகல் எண்கள் அதிகமாகவும் உள்ளன. எனவே தூரத்திலிருந்து வருகின்ற ஒளிக்கதிர்கள், அடுத்தடுத்து ஒன்றுக்கொன்று குறைவான ஒளிவிலகல் எண்களைக்கொண்ட அடுக்குகளின்மூலம் கீழ்நோக்கி வருகின்றன. அப்படி வரும் ஒளிக் கதிரொன்றைக் கருதினால், அது கீழே வரவர குத்துக் கோட்டிலிருந்து விலகிக்கொண்டே செல்லும். இதனால் அடுக்குக்கு அடுக்கு படுகோணம் அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். இவ்வாறு அதிகரித்துக்கொண்டு செல்லும் படுகோணம், ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைக்குப் பின்னர் ஓர் அடுக்கின்மீது படும்பொழுது அதன் மதிப்பு மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாகின்றது. எனவே அந்தக் கதிர் முழு எதிரொளிப்பிற்கு உள்ளாகின்றது. கதிர் மேல் நோக்கித் திருப்பப்படுகின்றது.

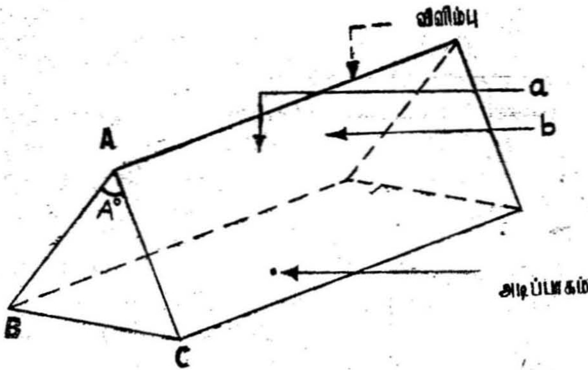
மேல் நோக்கிச் செல்லும்பொழுது, குத்துக்கோட்டை நோக்கி வளைந்து செல்கின்றது. இவ்வாறு முழு அக எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் செல்லும் பல கதிர்கள் ஒருவரின் கண்களைச் சேருமானால், நீரின் பரப்பில் எதிரொளிப்பு அடைந்த ஒளிக்கதிர்களைப் போன்று அவை தோன்றும். எனவே, பார்ப்பவர் கண்ணுக்கு தன் முன்னால் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்திற்கு அப்பால் நீர்ப் பரப்பு இருப்பது போன்று தோன்றும். இவ்வாறு ஏற்படும் நிகழ்வுதான் கானல் நீர் எனப்படும்.

(ஆ) சூடாக்கப்பட்ட காற்று வழியே பார்க்கப்படும் பொருள்கள் :

ஒரு புகைப் போக்கியின் வழியே வெளியேறும் சூடான புகை அல்லது சூடான மணற் பரப்பின் மேலிருந்து உயரேச் செல்லும் வெப்பக் காற்று இவற்றின் வழியாகப் பார்த்தால், பார்க்கப்படும் பொருள்கள் அதிர்வினுல் நடுங்குவதுபோலத் தோன்றும். காற்ருனது மாறுபட்ட வெப்ப நிலைகளுக்கு வெப்பப்படுத்தப்படுவதால் அதன் வெவ்வேறு பகுதிகளில் ஒளிவிலகல் எண் வேறுபட்ட மதிப்புக்களைக் கொண்டுள்ளது. மேலும் காற்றின் இயக்கத்தினுல் மாறுபட்ட மதிப்புக்களைக்கொண்ட பகுதிகள் இடம் பெயர்ந்து கொண்டே உள்ளன. இதனுல் தூரத்திலுள்ள பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் தொடர்ந்து திசை மாற்றப்படுகின்றன. அப்படி திசை மாற்றப்பட்ட கதிர்கள் பார்வையாளரின் கண்ணில் பொருளின் படிவத்தை உண்டாக்கும் பொழுது பொருள் நடுங்குவது போன்று தோன்றுகின்றது. நட்சத்திரங்களும் இதே காரணத்தால்தான் மின்னுவதுபோலத் தோன்றுகின்றன.

3.3. முப்பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல் :

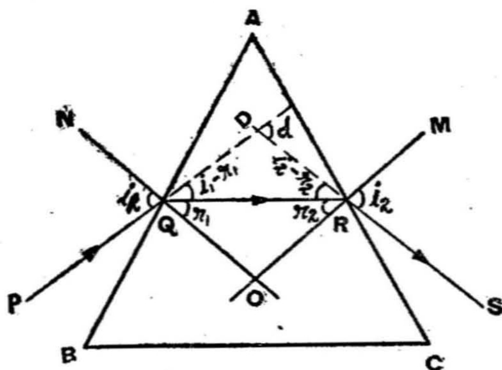
முப்பட்டகம் என்பது மூன்று சமதளப் பக்கங்கள், மூன்று இணையான கோடுகளில் வெட்டிக் கொள்ளுவதினுல் உண்டாகும் ஒளி புகும் ஒரு ஊடகமாகும். மூன்று பக்கங்களில் ஒரு பக்கம் எப்பொழுதும் தேய்க்கப்பட்டிருக்கும். மற்ற இரு பக்கங்களும் பளபளப்பாக்கப்பட்டிருக்கும்.



படம் 3.6. முப்பட்டகம்

படம் 3.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள a,b என்னும் இரு பளபளப்பான பக்கங்களும் ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்தும் பக்கங்கள் எனப்படும்.

அவை இரண்டும் சந்திக்கும் நேர்க்கோடு ஒளிவிலகல் விளிம்பு (Refracting edge) எனப்படும். ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்தும் இரண்டு பக்கங்கள் ஒளிவிலகல் விளிம்புடன் உண்டாக்கும் கோணம் பட்டகத்தின் கோணம் (Angle of the Prism) எனப்படும். ஒளிவிலகல் விளிம்பிற்கு எதிரில் உள்ள தேய்த்த பக்கம் பட்டகத்தின் அடிப்பாகம் எனப்படும். அடிப்பாகம் ஒழுங்கற்று இருந்தாலும் பட்டகத்தில் ஏற்படும் ஒளிவிலகல் பாதிக்கப்படாது. பட்டகத்தை அதன் ஒளிவிலகல் விளிம்பிற்குக் குத்தாக உள்ள தளமொன்று வெட்டுவதனுல் உண்டாக்கப்படும் ABC போன்ற முகப்பு, முக்கியப் பகுதி (Principal Section) எனப்படும். *ABC* என்னும் முக்கியப் பகுதியில் நடைபெறும் ஒளிவிலகலைக் கருதுவோம்.



படம் 3.7 முப்பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல்

AB, *AC* விலகல் பிரிதளங்கள். *PQ* என்பது படுகதிர். அது விலகலுக்குப் பின்னர் லம்பத்தை நோக்கி வளைந்து *QR* என்ற திசையில் சென்று *R*-ல் பட்டு பக்கம் *AC*-ல் விலகல் அடைகின்றது. விலகலுக்குப் பின்னர் குத்துக்கோட்டைவிட்டு விலகி *RS* என்ற திசையில் செல்கின்றது. படுபுள்ளி *Q*, விடுபுள்ளி *R* இவைகளில் முறையே *AB*, *AC*-க்குக் குத்துக்கோடுகள் வரைந்தால் அவை O-வில் வெட்டிக்கொள்ளட்டும். படம் 3.7-ல் உள்ளவாறு Q-வில் படுகோணமாக,

$\angle NQP = i_1$-ம், விலகு கோணமாக $\angle RQO = r_1$-ம அமைகின்றன. இதைப் போலவே R-ல் படுகோணமாக $\angle QRO = r_2$-ம், விலகுகோணமாக $\angle MRS = i_2$-ம் அமைகின்றன. விடுகதிர் *RS*-ஐப் பின்பக்கம் நீட்டினுல் படுகதிர் *PQ*-வின் நீட்சியை *D*-யில் வெட்டட்டும். இப்பொழுது $\angle d$ என்பது திசைமாற்றக் கோணமாகும். முக்கோணம் *QDR*-ல்,

$$\angle d = \angle DQR + \angle QRD$$

ஆனால்,

$$\angle DQR = i_1 - r_1$$
$$\angle QRD = i_2 - r_2$$

எனவே,

$$d = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$
$$= (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2) \qquad (1)$$

முக்கோணம் QRO-வில்,

$$r_1 + r_2 + \angle QOR = 180° \qquad (2)$$

மேலும் வட்ட நாற்கரம் $AQOR$-ல்

$$\angle A + \angle QOR = 180° \qquad (3)$$

சமன்பாடுகள் (2), (3) இவைகளிலிருந்து,

$$\angle A = r_1 + r_2 \qquad (4)$$

$\angle A$-ன் இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$d = i_1 + i_2 - A \qquad (5)$$

3.9. சிறும திசைமாற்றக் கோணம்

ஒரு பட்டகத்தில் ஏற்படும் திசைமாற்றம், படுகோணத்தைப் பொறுத்து அமைகின்றது. படுகோணத்தை அதிகரித்துக் கொண்டே சென்றால், விலகுகதிர் குறிப்பிட்டதொரு குறைந்த அளவு திசைமாற்றத்தை அடைந்து பின்னர் அதிகரிக்கத் துவங்குகின்றது. எனவே பட்டகத்தில் குறிப்பிட்டதொரு படுகோணத்திற்குத் திசைமாற்றம் சிறும மதிப்பைப் பெறுகின்றது என்பது தெளிவாகின்றது. எனவே, ஒளிக்கதிரொன்று சிறும திசைமாற்றம் அடைவதற்கான நிபந்தனையைக் கவனிக்கலாம்.

படம் 3.7-ல் உள்ளபடி, $PQRS$ என்ற ஒளிக்கதிர் அடையும் ஒளிவிலகலைக் கருதினால்,

$$\frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } r_1} = \mu = \frac{\text{சைன் } i_2}{\text{சைன் } r_2} \text{ என்பது தெரியும்.}$$

அல்லது $\text{சைன் } i_1 = \mu \text{ சைன் } r_1 \qquad (6)$

$$\text{சைன் } i_2 = \mu \text{ சைன் } r_2 \qquad (7)$$

சமன்பாடுகள் (6), (7) இவைகளின் பகுனிகாண (differentiating.)

$$\text{காஸ் } i_1\, di_1 = \mu \text{ காஸ் } r_1 dr_1$$

$$\text{காஸ் } i_2\, di_2 = \mu \text{ காஸ் } r_2\, dr_2$$

$$\therefore \quad \frac{\text{காஸ் } i_1\, di_1}{\text{காஸ் } i_2 di_2} = \frac{\text{காஸ் } r_1\, dr_1}{\text{காஸ் } r_2\, dr_2} \qquad (8)$$

ஆனால் $A = r_1 + r_2$

பகுனிகாண,

$$dr_1 = -\, dr_2 \qquad (9)$$

$\because$ (A ஒரு மாறிலி ஆகையால்)

படுகோணம், விடுகோணம். முறையே i_1, i_2 என்று இருக்கையில், D என்பது சிறும திசைமாற்றக் கோணம் என்று கொள்வோம்.

$$\therefore \quad D = i_1 + i_2 - A \qquad (10)$$

பகுனி காண,

$$O = di_1 + di_2$$

அல்லது $di_1 = -\, di_2$ (11)

சமன்பாடுகள் (9), (11) இவைகளின் மதிப்புக்களை, சமன்பாடு (8)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{\text{காஸ் } i_1}{\text{காஸ் } i_2} = \frac{\text{காஸ் } r_1}{\text{காஸ் } r_2} \qquad (12)$$

அல்லது

$$\frac{\text{காஸ்}^2 i_1}{\text{காஸ்}^2 i_2} = \frac{\text{காஸ்}^2 r_1}{\text{காஸ்}^2 r_2}$$

எனவே,

$$\frac{1 - \text{சைன்}^2\, i_1}{1 - \text{சைன்}^2\, i_2} = \frac{1 - \text{சைன்}^2 r_1}{1 - \text{சைன்}^2 r_2}$$

$$[\because \text{சைன்}^2 i + \text{காஸ்}^2\, i = 1],$$

சைன்^{2} $i_1 = \mu^2$ சைன்^{2} r_1 என்றும், சைன்^{2} $i_2 = \mu^2$ சைன்^{2} r_2 என்றும் பதிலீடு செய்து குறுக்காகப் பெருக்க,

$$(1 - \mu^2 \text{ சைன்}^2 r_1)\,(1 - \text{சைன்}^2 r_2) = (1 - \mu^2 \text{ சைன்}^2\, r_2)\,(1 - \text{சைன்}^2\, r)$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

சைன் $^2 r_1 \ (1-\mu^2)$ = சைன் $^2 r_2 \ (1-\mu^2)$ எனக் கிடைக்கும். எனவே,

$$\text{சைன்}^2\, r_1 = \text{சைன்}^2\, r_2$$

$$\text{அல்லது } r_1 = r_2$$

ஆனல் சமன்பாடு (12)-ன் படி,

$$\frac{\text{காஸ் } i_1}{\text{காஸ் } i_2} = \frac{\text{காஸ் } r_1}{\text{காஸ் } r_2}$$

எனவே, $r_1 = r_2$ எனில்

$i_1 = i_2$ என்பது தெளிவு.

எனவே படுகோணமும், விடுகோணமும் சமமாக இருந்தால் ஒளிக் கதிர் சிறும திசை மாற்றம் அடைகின்றது. மேலும், $r_1 = r_2$ என்று இருப்பதால் விலகுகதிர் பட்டகத்தின் அடிப் பாகத்திற்கு இணையாக இருக்கும். எனவே சிறும திசை மாற்ற திசையில் பட்டகத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிரொன்றுக்கு,

$$i_1 = i_2 = i$$

$$r_1 = r_2 = r$$

$$\text{எனவே } \mu = \frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } r_1} = \frac{\text{சைன் } i_2}{\text{சைன் } r_2} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$$

ஆனல், $A = r_1 + r_2 = 2r$

அல்லது $r = A/_2$

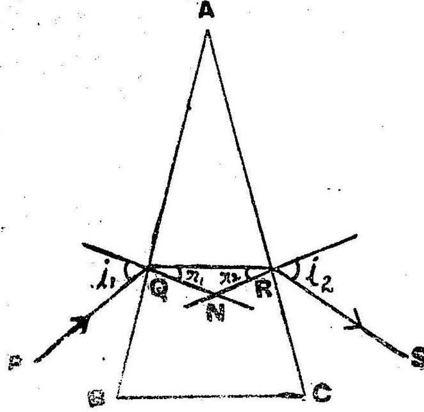
மேலும், $D = i_1 + i_2 - A = 2i - A$

$$\text{அல்லது } i = \frac{A+D}{2}$$

$$\therefore \mu = \frac{\text{சைன் } \frac{A+D}{2}}{\text{சைன் } A/2}$$

3.10. மெல்லிய பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல் :

குறைந்த மதிப்புடைய ஒளிவிலகல் கோணத்தைக் கொண்டது மெல்லிய பட்டகம் எனப்படும். இத்தகைய பட்டகங்களில் சைன் A என்பதனை A என்றே கொள்ளலாம்.



படம் 3.8. மென்பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல்

மெல்லிய பட்டகத்தின் முக்கிய பகுதியொன்றில் விலகல் அடையும் ஒளிக்கதிரான PQ-வைக் கருதுவோம். குறைந்த மதிப்புடைய படுகோணம் i_1-க்கு AB-யில் விலகுகோணம் r_1 ஆக இருக்கட்டும்.

$$\text{எனவே}\quad \frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } r_1} = \mu \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது i_1, r_1 இவற்றின் மதிப்புக்கள் மிகக் குறைந்தவைகளாக இருப்பின்,

$$\frac{i_1}{r_1} = \mu \quad \text{அல்லது} \quad i_1 = \mu\, r_1 \qquad (1)$$

என எழுதலாம். இரண்டாவது பக்கமான AC-யில் படுகோணம், விலகுகோணம் முறையே r_2, i_2 எனில்

$$i_2 = \mu\, r_2 \qquad (2)$$

ஆனால் திசைமாற்றக் கோணம்

$$\begin{aligned} d &= i_1 + i_2 - A \\ &= \mu\, r_1 + \mu\, r_2 - A \\ &= \mu\,(r_1 + r_2) - A \end{aligned}$$

ஆனால்,

$$A = r_1 + r_2$$

$$\therefore \quad d = \mu A - A$$

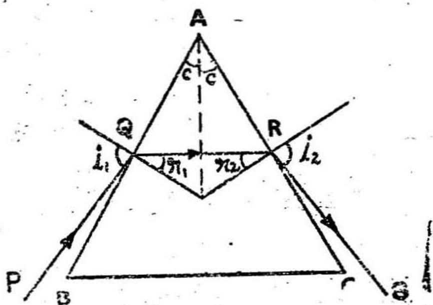
$$= (\mu - 1) A.$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து, மெல்லிய பட்டகத்தின் ஒரு பக்கத்தின்மீது குறைந்த படுகோணங்களில் விழும் எல்லாக் கதிர்களுக்கும் ஏற்படும் திசைமாற்றக் கோணம் ஒரு மாறிலியாக உள்ளது என்பது தெளிவாகின்றது.

3.11. ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்தும் கோணத்தின் பெரும மதிப்பு : (Limiting angle of the Prism)

படம் - 3.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, $PQRS$ என்னும் ஒளிக்கதிர் பட்டகத்தில் விலகல் அடையும்பொழுது

$$A = r_1 + r_2 \qquad (1)$$ ஆகும்.



படம் 3.9. ஒளிவிலகல் கோணத்தின் பெரும மதிப்பு

கோணம் r_1-ன் மதிப்பு படுகோணம் i_1-ஐயும், கோணம் r_2-வின் மதிப்பு விடுகோணம் i_2-வையும் பொறுத்தது ஆகும். கோணம் i_1 பெறக்கூடிய பெரு மதிப்பு 90°. இந்த மதிப்பிற்கு r_1-பெறக்கூடிய பெரும மதிப்பு, பட்டகத்தின் பருப்பொருளுக்கான (Material of the Prism) மாறுநிலைக்கோணம் c ஆகும்.

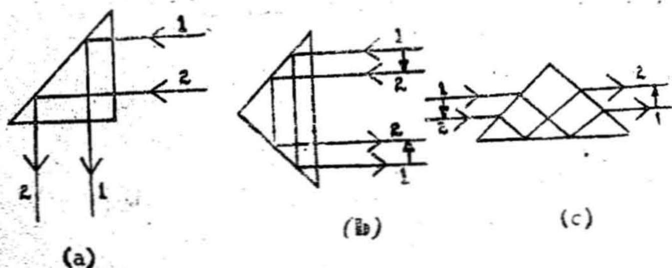
இதேபோல் i_2-ன் பெரும மதிப்பு 90° ஆகும். 90° விலகு கோணத்தை ஏற்படுத்தக்கூடிய படுகோணம் r_2-வின் மதிப்பு c ஆகும்.

கோணம் r_2-ன் மதிப்பு C-ஐவிட அதிகமானால் பக்கம் AC-யில் ஒளிவிலகலுக்குப் பதில் முழு அக எதிரொளிப்புதான் ஏற்படும்.

எனவே, r_1, r_2 இவைகளின் பெரும மதிப்புகள் முறையே c ஆகும். எனவே சமன்பாடு $A = r_1 + r_2$ என்பதிலிருந்து ஒரு ஒளிக்கதிர் பட்டகத்தின் வழியாக ஒளிவிலகல் அடைய, பட்டகத்தின் கோணத்திற்கான பெரும மதிப்பு $2c$ ஆகும். எனவே, A-யின் மதிப்பு $2c$-க்கு அதிகமாக இருந்தால் பக்கம் AB-யில் படும் எக் கதிருக்கும் AC-யில் விடுகதிர் இருக்காது.

3.12. முழு எதிரொளிப்புப் பட்டகங்கள் :

கண்ணாடிப் பட்டகமொன்றை ஒளியை எதிரொளிக்கவும் பயன் படுத்தலாம். எதிரொளிக்கும் வகையில் பட்டகம் பயன்படுத்தப் பட்டால் அது முழு எதிரொளிப்புப் பட்டகம் (Totally reflecting prism) எனப்படும். கிரௌன் கண்ணாடிக்கு ஒளிவிலகல் எண் 1.51 ஆகும். எனவே கிரௌன் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட பட்டகத்திற்கு மாறுநிலைக்கோணம் 41° 30′ ஆகும். எனவே கண்ணாடி காற்று பிரிதளத்தில் 45° கோணத்தில் விழும் ஒளிக்கதிர் முழு அக எதிரொளிப்பை அடைகின்றது. முழு அக எதிரொளிப்பை ஏற்படுத்துபவை இரு சமபக்க செங்கோண முப்பட்டகங்கள் ஆகும். இவ்வகைப் பட்டகங்களைக்கொண்டு தள எதிரொளிக்கும் பரப்புகளைவிட, பொலிவான தெளிவுமிக்க படிவங்களைப் பெற முடியும்.



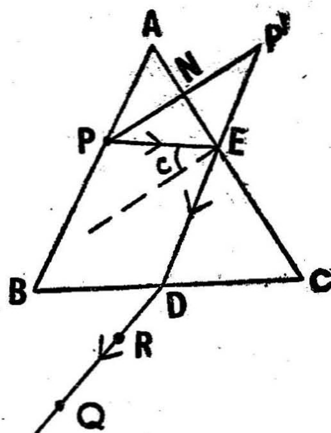
படம் 3.10. முழு எதிரொளிப்புப் பட்டகங்கள்

படம் 3.10-ல் ஒரு இரு சமபக்க செங்கோண முப்பட்டகத்தைப் பயன்படுத்தும் முறைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. 3.10 (a)-ல் உள்ள வாறு வைத்தால், கர்ண பக்கத்தின்மீது விழும் கதிர்கள் 90° திசை திருப்பப்படுகின்றன. படம் 3.10 (b)-ல் உள்ள வாறு வைத்தால் ஒளிக் கதிரானது 180° திசை திருப்பப்படுவதுடன் உண்டாகும் படிவமும் 180° பாகை சுழற்றப்படுகின்றது. எனவே தலைகீழ் படிவங்களை நேரானவைகளாக நிமிர்த்த இயலும். படம் 3.10 (c)-ல் உள்ளவாறு அமைத்தால் திசைமாற்றம் ஏற்படா

மல் செய்யலாம். ஆனால் படிவம் 180° கோணச் சுழற்சி அடையும். திசைமாற்றம் இல்லாமல் தலைகீழான படிவத்தை நிமிர்த்த முடியும். எனவே இவ்வகைப் பட்டகங்கள் காமிராக்களில் படம் எடுப்பதற்கு முன்னர் தெளிவான படிவத்தைக் கண்டு சரிசெய்யும் அமைப்புக் களில் பயன்படுகின்றன.

3.13 பட்டகத்தைப் பயன்படுத்திக் கண்ணாடியின் மாறுநிலைக் கோணத்தைத் தீர்மானித்தல் :

வரை பலகையின்மீது வரை தாளொன்றைப் பொருத்தி, அதன்மீது பட்டகத்தை வைத்து அதன் விளிம்பை வரைந்து கொள்ளவும். ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்தும் முகப்பு AB-ஐ ஒட்டினாற் போல் குண்டூசி P-ஐ குத்திக்கொள்ளவும்.



படம் 3.11. பட்டகத்தின் பருப்பொருளின் மாறுநிலைக்கோணம் காணல்

BC என்னும் முகப்பின் வழியாகக் குண்டூசியின் படிவத்தைப் பார்க்கவும். கண்ணை C-யின் பக்கம் வைத்து B-ஐ நோக்கி நகர்த்தினால், C-யிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைவரை பொலிவான படிவம் தெரிகின்றது. பின்னர் திடீரென அது மங்குகின்றது. இப்பொழுது பொலிவான படிவம் தோன்றும் பகுதியும், மங்கலான படிவம் தோன்றும் பகுதியும் ஒரு கோட்டினால் பிரிக்கப்படுகின்றன. இக்கோடு அமையும் இடத்தைக் காண, மாறும் நிலையில் தெரியும் P-ன் படிவத்துடன் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்குமாறு Q, R என்னும் இரு குண்டூசிகளைப் பதிக்கவேண்டும். பின்னர் பட்டகத்தையும் குண்டூசிகளையும் எடுத்துவிட வேண்டும். குண்டூசிகள் Q, R இருந்த புள்ளிகளைக் குறித்துக்கொண்டு அவற்றை நேர்க்

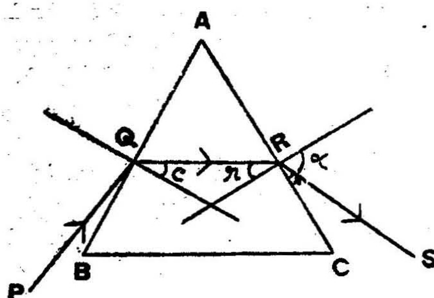
கோட்டால் இணைத்து நீட்டினால் அது BC என்னும் பக்கத்தை D-யில் சந்திக்கும். P-யின் வழியாக AC-க்கு குத்துக்கோடொன்று வரையவும். அக்கோடு AC-ஐ, N-ல் சந்திக்கட்டும். பின்னர் $PN = P'N$ இருக்குமாறு P'-ஐ எடுத்துக்கொள்ளவும். P'-ஐயும், D-ஐயும் சேர்த்தால் அது AC-யை, E-ல் சந்திக்கும். இப்பொழுது $\angle PED$, மாறுநிலைக் கோணத்தைப்போன்று இரு மடங்காகும். P-யிலிருந்து முகப்பு AC-யின்மேல், A-க்கும், E-க்கும் இடையில் விழும் கதிர்கள் பெரும்பாலும் விலகல் அடைகின்றன. ஆனால், ஒரு சிறு பகுதி மட்டும் எதிரொளிப்பதினால், மங்கலான படிவம் ஒன்று தெரிகின்றது. E-க்கும், C-க்கும் இடையில் விழும் கதிர்களுக்கான படுகோணங்கள் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமானவை. எனவே, முழு எதிரொளிப்புக்குள்ளாகின்றன. எனவே D-க்கும் C-க்கும் இடையில் படிவம் பொலிவுமிக்கதாக உள்ளது. இதனால் PED தான் மாறுநிலை எல்லையில் அமைகின்ற கதிர். ஆகவே, E-யில் இதன் படுகோணமே பட்டகத்தின் மாறுநிலைக் கோணமாக அமைகின்றது. எனவே முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்படுகின்றது. $\angle PED$ மாறுநிலைக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்கு உள்ளது. கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை $\mu = \dfrac{1}{\text{சைன்}\ c}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

3.14. தவழ்நிலைக் கதிரைக்கொண்டு ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணல்:

(அ) பட்டகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் :

முப்பட்டகம் ABC காற்றில் வைக்கப்பட்டுள்ளது எனக்கொள்வோம். அதன் பக்கம் AB ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். பட்டகத்தின் AC என்ற பக்கத்தினை தொலைநோக்கியின் மூலம் பார்த்தால், பார்வைப்புலம் இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு தோன்றுகின்றது. A-யிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நிலை வரை உள்ள பகுதி நல்ல ஒளியூட்டத்துடனும், அந்நிலைக்குக் கீழ் C வரை உள்ள பகுதி இருளாகவும் உள்ளன. 90° கோணத்தில் படும் கதிர் PQ-வைக் கருதுவோம். இந்தப் படுகதிரால் மேற்சொன்னவாறு தோன்றும் இருவேறு பகுதிகளைப் பிரிக்கும் கோடு விடுகதிர் RS வெளிப்படும் இடத்தில் அமையும். படம் 3.12-ல் QR என்பது பட்டகத்தினுள் அமையும் விலகு கதிராகும். இவ் விலகு கதிர் குத்துக்கோட்டுடன் ஏற்படுத்தும் கோணம் 'c', பட்டகத்தின் பருப்பொருளுக்கான மாறுநிலைக் கோணமாகும். எனவே காற்றைப் பொறுத்த பட்டகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ எனில்,

$$\mu = \frac{1}{\text{சைன் } c} \tag{1}$$



படம் 3.12.

பட்டகத்தின் கோணம் A என்றும், விலகுகதிர் QR, AC–யின்மீது படும் கோணம் r என்றும் கொள்க.

$$\text{எனவே} \quad A = c+r$$

$$\text{அல்லது} \quad r = A-c$$

R–ல் விடுகோணம் $\propto$ எனில்,

$$\mu = \frac{\text{சைன் } \propto}{\text{சைன் } r}$$

$$\text{அல்லது, சைன் } \propto = \mu \text{ சைன் } r$$

$$= \mu \text{ சைன் } (A-c) \quad [\because A=c+r]$$

$$\text{சைன் } \propto = \mu \text{ (சைன் } A. \text{ காஸ் } c - \text{காஸ் } A. \text{ சைன் } c) \tag{2}$$

$$\left.\begin{aligned} \text{ஆனால்} \quad \mu &= \frac{1}{\text{சைன் } c}; \text{ அல்லது சைன் } c = \frac{1}{\mu} \\ \text{எனவே காஸ் } c &= \sqrt{1-\frac{1}{\mu^2}} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

சமன்பாடு 2–ல், சமன்பாடு (3)–ன் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்ய, சைன் $\propto$ = சைன் $A\sqrt{\mu^2-1}$ — காஸ் A என்று கிடைக்கும்,

$$\text{அதாவது} \quad \frac{\text{சைன் } \propto + \text{ காஸ் } A}{\text{சைன் } A} = \sqrt{\mu^2 - 1}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{சைன் } c} \qquad (1)$$

A, B, C, P, Q, R, S, c, r, ∝

படம் 3.12.

பட்டகத்தின் கோணம் A என்றும், விலகுகதிர் QR, AC–யின்மீது படும் கோணம் r என்றும் கொள்க.

$$\text{எனவே} \quad A = c + r$$

$$\text{அல்லது} \quad r = A - c$$

R–ல் விடுகோணம் α எனில்,

$$\mu = \frac{\text{சைன் } \alpha}{\text{சைன் } r}$$

$$\text{அல்லது, சைன் } \alpha = \mu \text{ சைன் } r$$

$$= \mu \text{ சைன் } (A - c) \quad [\because A = c + r]$$

$$\text{சைன் } \alpha = \mu \text{ (சைன் } A.\text{ காஸ் } c - \text{காஸ் } A.\text{ சைன் } c) \qquad (2)$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{ஆனல்} \quad \mu = \dfrac{1}{\text{சைன் } c}; \text{ அல்லது சைன் } c = \dfrac{1}{\mu} \\ \text{எனவே} \quad \text{காஸ் } c = \sqrt{1 - \dfrac{1}{\mu^2}} \end{array}\right\} \qquad (3)$$

சமன்பாடு 2–ல், சமன்பாடு (3)–ன் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்ய, சைன் α = சைன் $A\sqrt{\mu^2 - 1}$ — காஸ் A என்று கிடைக்கும்,

$$\text{அதாவது} \quad \frac{\text{சைன் } \alpha + \text{காஸ் } A}{\text{சைன் } A} = \sqrt{\mu^2 - 1}$$

$$\text{அல்லது} \quad \mu^2 = \left(\frac{\text{சைன்} \, \alpha + \text{காஸ்} \, A}{\text{சைன்} \, A}\right)^2 + 1$$

$$\text{அல்லது} \quad \mu = \sqrt{\left(\frac{\text{சைன்} \, \alpha + \text{காஸ்} \, A}{\text{சைன்} \, A}\right)^2 + 1} \quad (4)$$

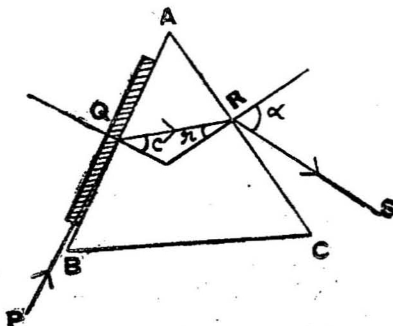
எனவே, α, A இவற்றின் மதிப்புகளை மட்டுமே கண்டு பட்டகத்தின் பருப்பொருளின் (Material of the Prism) ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

(ஆ) திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்

தவழ்நிலை படுகதிர் முறையையே பயன்படுத்திக் கண்ணாடியை விடக் குறைவான ஒளிவிலகல் எண் கொண்ட ஒரு திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணலாம். இதற்குப் படம் 3.13 ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பக்கம் AB-யின்மீது ஒரு திரவ மென் படலம் வைக்கப்பட வேண்டும். பக்கம் AB ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டால், முன்போலவே, பக்கம் AC-யில் குறிப்பிட்டதொரு நிலையில் ஒளிமிக்க பகுதியையும், இருள்மிக்க பகுதியையும் தெளிவாகப் பிரிக்கும் கோடு இருக்கின்றது. $90°$ கோணத்தில் படும் கதிரான PQ-வுக்கு AC என்ற பக்கத்தில் விடுகதிராக அமையும் RS வெளிப்படும் நிலை பிரி கோடு அமையும் இடமாகும்.

$$\text{எனவே,} \quad A = c + r \qquad (1)$$

இங்கு கோணம் c திரவ, கண்ணாடி பரப்புக்களுக்கான மாறு நிலைக் கோணமாகும். μ_g, μ_L என்பன முறையே கண்ணாடி திரவம் இவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்கள் எனில்,



படம் 3.13

$$\frac{1}{\text{சைன் } c} = \frac{\mu_g}{\mu_L}$$

அல்லது, $\mu_L = \mu_g$ சைன் c (2)

சமன்பாடு (1)–லிருந்து,

$c = A{-}r$ என்னும் மதிப்பைப்

பதிலீடு செய்ய, $\mu_L = \mu_g$ சைன் $(A{-}r)$

$= \mu_g$ (சைன் A. காஸ் r–காஸ் A. சைன் r) (3)

பட்டகத்தின் பக்கம் AC–யில் அடையும் ஒளிவிலகலைக் கருத,

$$\frac{\text{சைன் } \alpha}{\text{சைன் } r} = \mu_g$$

$$\left.\begin{aligned} \therefore \quad \text{சைன் } r &= \frac{\text{சைன் } \alpha}{\mu_g} \\ \text{காஸ் } r &= \sqrt{1 - \frac{\text{சைன்}^2 \alpha}{\mu_g^2}} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

சைன் r, காஸ் r இவைகளுக்கான மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (3)–ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu_L = \mu_g \left[\text{சைன் } A \sqrt{\frac{\mu_g^2 - \text{சைன்}^2 \alpha}{\mu_g^2}} - \text{காஸ் } A. \frac{\text{சைன் } \alpha}{\mu_g} \right]$$

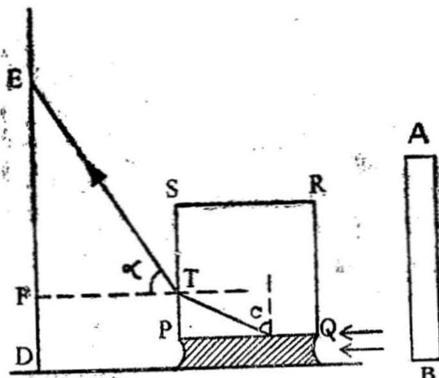
$$= \text{சைன் } A \sqrt{\mu_g^2 - \text{சைன்}^2 \alpha} - \text{காஸ் } A. \text{ சைன் } \alpha \quad (5)$$

பட்டகத்தின் கோணம் A, கோணம் α இவைகளை மட்டும் சோதனை மூலம் அறிந்து திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ_L-ஐக் காணலாம்.

3.15. உல்லாஸ்டின் முறையில் திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் காணல்

உல்லாஸ்டின் (Wollastin) முறையில் ஒரு கனச் செவ்வகக் கண்ணாடி $PQRS$-ன் அடிப்பாகம் PQ-க்கும், கருமையாக்கப்பட்ட மற்றொரு கண்ணாடிக்கும் இடையில் ஒளிவிலகல் எண் காண வேண்டிய திரவம் சிறு படலமாக வைக்கப்படுகிறது. QR என்னும் பக்கம். AB என்ற தேய்ந்த கண்ணாடித் தகட்டின் வழியாக வரும் ஒளியால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. பக்கம் PQ-வில் ஒளிவிலகல் அடையும் ஒளிக்கதிர்கள் PS-ன் வழியாக வெளியேறுகின்றன. DE

என்னும் தாங்கியில் அமைந்துள்ள சிறுதுளே E-ன் வழியாக, பக்கம் PS-ஐப் பார்த்தால் ஒரு நிலே வரை பொலிவுடனும், அந்நிலேக்குப் பிறகு இருளாகவும் உள்ளது. பொலிவுப் பகுதியும், இருள் பகுதியும் தெளிவாக ஒரு கோட்டினல் பிரிக்கப்படுகின்றன.



படம் 3.14 உல்லாஸ்டின் முறை

பிரிக்கும் இக் கோடு அமையும் இடத்தைக் காண, PS-ன் மேல் T-என்னுமிடத்தில் ஒரு கிடைவரைவு போடப்பட்டுள்ளது. E-ன் மூலம் பார்த்துக்கொண்டே கனச் செவ்வகக் கண்ணுடியை நகர்த்தி பொலிவுமிக்க பகுதியையும், இருள்மிக்க பகுதியையும் பிரிக்கும் கோடு T-ல் உள்ள இவ்வரைவுடன் பொருந்துமாறு செய்ய வேண்டும். இப்பொழுது TE-தான் மாறுநிலேயில் அமையும் கதிரின் திசையாகும். எனவே, மாறுநிலேக் கோணத்தில் PQ-வின் மேல் விழும் கதிர் PS என்னும் பக்கத்தில் T-யில் உள்ள கிடை நிலேக்கு $\propto$ அளவு கோணத்தில் வெளியேறுகிறது. எனவே டேன் $\propto = \frac{EF}{TF}$ ஆகும், இதிலிருந்து $\propto$-வைத் தீர்மானிக்கலாம்.

மேலும் P என்னும் விளிம்பில் அமையும் கோணம் பட்டகத்தின் கோணமாகிறது. ஆதாவது $\angle P = \angle A = 90^\circ$ ஆகின்றது. எனவே, முன்பிரிவு 3.14. (ஆ)-வில் கண்ட சமன்பாடு (5)-ல், காஸ் $A = O$ ஆகின்றது. எனவே,

$$\mu_L = \text{சைன் } A\sqrt{\mu_g^2 - \text{சைன்}^2 \propto} \text{ ஆகும்.}$$

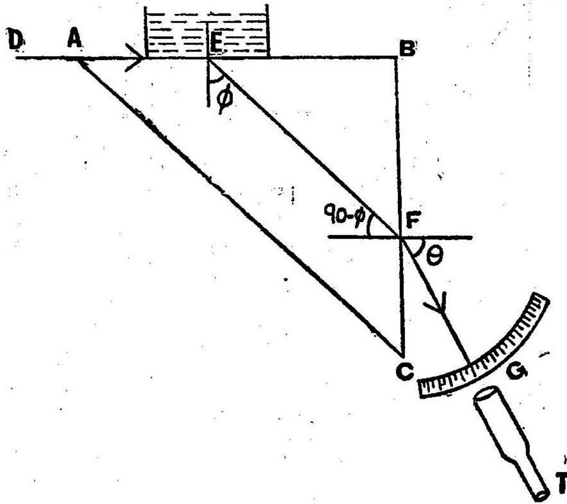
இதிலிருந்து திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணேக் கணக்கிடலாம். மாருக, திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் தெரிந்திருந்தால்,

$$\mu_g = \sqrt{\mu_L^2 + \text{சைன்}^2 \propto} \text{ என்னும் சமன்பாட்டில்}$$

இருந்து கண்ணுடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணேக் கணக்கிடலாம்.

3;16. புல்ஃபிரிஷ் ஒளிவிலகல்மானி (Pulfrich refractometer)

திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக்காண, இவ்விலகல் மானியைப் பயன்படுத்தலாம். இதில் செங்கோணப் பட்டகமொன்று உள்ளது. பட்டகத்தின் கிடைப்பக்கத்தின்மீது சிறு கண்ணாடித் தொட்டியொன்று பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஒற்றை நிற ஒளி, அத்திரவத்தினுள் தவழ் நிலையில் படுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது.



படம் 3.15 புல்ஃபிரிஷ் முறை

DE என்பது திரவக் கண்ணாடிப் பரப்பின்மீது தவழ்நிலையில் விழும் ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிர். இந்தக் கதிர் E என்னும் புள்ளியில் விலகலுக்குப் பின்னர் பட்டகத்தினுள் EF என்னும் திசையில் செல்வதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது கோணம் ϕ திரவத்தைப் பொறுத்த கண்ணாடிப் பட்டகத்தின் மாறுநிலைக் கோணமாகும். இந்தக் கதிர் பட்டகத்தின் குத்து முகப்பு BC யைவிட்டு F-என்னும் புள்ளி வழியாக வெளியேறுவதாகக் கொள்வோம். BC-க்கு F-ல் குத்துக்கோடு வரைந்தால், வெளியேறும் கதிர் குத்துக்கோட்டுடன் θ கோணம் ஏற்படுத்துகின்றது. இப்படி வெளியேறும் கதிரை அளவீடு செய்யப்பட்ட வட்ட அளவு கோலொன்றின்மீது நகரும் தொலைநோக்கி T-ஆல் பார்க்கலாம். தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் (Field of view) மேல்பக்கம் இருளாகவும், கீழ்ப்பக்கம் பொலிவுடனும் இருக்கும். தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் தெரியும் பொலிவான பகுதியையும், இருள்மிக்க பகுதியையும் பிரிக்கும் கோட்டுடன் கிடைக்குறுக்குக் கம்பி இணையுமாறு செய்ய

வேண்டும். அளவீடு செய்யப்பட்ட வட்ட அளவுகோலின் உதவியால் கோணம் θ–வை அளக்கலாம். E–யில் ஒளிவிலகலுக்கு,

$$\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_L} = \frac{\text{சைன் } 90}{\text{சைன் } \phi} = \frac{1}{\text{சைன் } \phi}$$

அல்லது,

$$\frac{\mu_L}{\mu_g} = \text{சைன் } \phi \qquad (1)$$

F-ல் ஒளிவிலகலுக்கு,

$$\mu_g = \frac{\text{சைன் } \theta}{\text{சைன் } (90-\phi)} = \frac{\text{சைன் } \theta}{\text{காஸ் } \phi}$$

அல்லது,

$$\text{காஸ் } \phi = \frac{\text{சைன் } \theta}{\mu_g} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளின் இருமடங்குகளைக் கண்டு கூட்ட

$$\text{சைன்}^2 \phi + \text{காஸ்}^2 \phi = \frac{\mu_L^2}{\mu_g^2} + \frac{\text{சைன் }^2\theta}{\mu_g^2}$$

$$1 = \frac{\mu_L^2 + \text{சைன் }^2\theta}{\mu_g^2}$$

$$\mu_g^2 = \mu_L^2 + \text{சைன் }^2\theta$$

அதாவது $\mu_L^2 = \mu_g^2 - \text{சைன் }^2\theta$

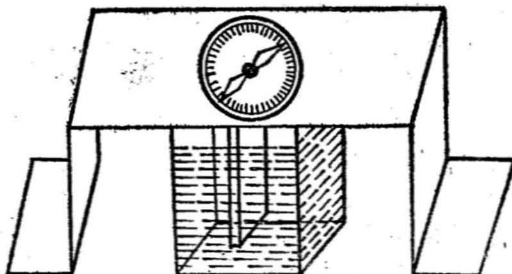
எனவே $\mu_L = \sqrt{\mu_g^2 - \text{சைன் }^2\theta}$

திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண், பட்டகம் செய்யப்பட்டுள்ள பருப்பொருளினுடைய (Material of the prism) விலகல் எண்ணைவிடக் குறைவாக இருந்தால்தான் இந்த முறையில் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காண இயலும்.

3.11. காற்றுச் சிமிழ் :

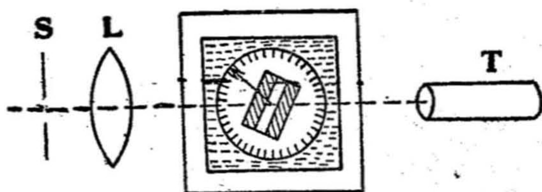
இரண்டு கண்ணாடித் துண்டுகளின் இடையே சீரான காற்றுப் படலம் அமையுமாறு வைக்கப்பட்டு அவைகளின் விளிம்புகளில்

மைக்கா அல்லது அலுமினிய மென்துண்டுகள் வைத்து திரவம் புகாதவாறு பூசப்பட்டுள்ள அமைப்பு காற்றுச் சிமிழ் எனப்படும்.



படம் 3.16. காற்றுச் சிமிழ்

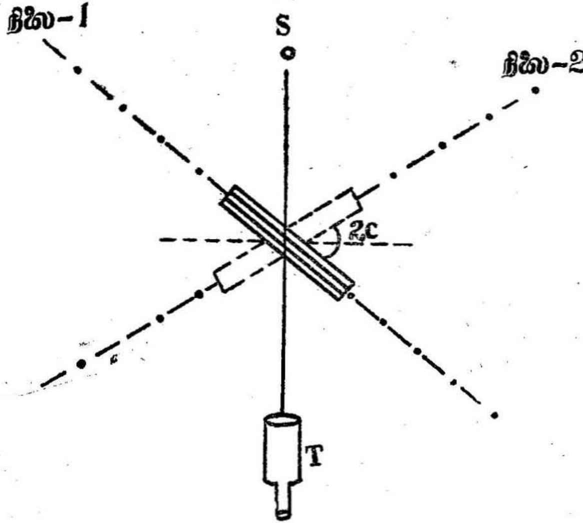
இக் காற்றுச் சிமிழானது குத்து அச்சு ஒன்றின்மூலம் ஒரு நீரியியல் மேடையின் (Hydrostatic bench) கீழ் அமையுமாறு (படம் 3.16) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. பாகைகளில் குறியீடு செய்யப்பட்ட வட்ட அளவுகோலின்மீது நகரும் வண்ணம் குறிமுள் ஒன்று அச்சின் மறுமுனையில் கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இத்தகைய அமைப்பைக் கொண்டு ஒரு திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணலாம்.



படம் 3.17.

படம் 3.17-ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒளிப்பிளவு S, வில்லை L திரவம் வைக்கும் கண்ணாடித் தொட்டி, காற்றுச் சிமிழ், தொலை நோக்கி T ஆகியவற்றை அமைத்துக்கொள்ள வேண்டும். ஒளிப் பிளவு S-லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், வில்லை L-ஆல் இணை யாக்கப்பட்டு திரவத் தொட்டியின்மீது விழுகின்றன. கதிர்களுக்குச் செங்குத்தாக அமையுமாறு காற்றுச் சிமிழைச் சுழற்ற வேண்டும். இந்நிலையில் தொலைநோக்கியில் பிளவின் தெளிவான படிவம் கிடைக்கும். தொலைநோக்கியில் படிவத்தைப் பார்த்துக்கொண்டே காற்றுச் சிமிழை வலது பக்கமாகச் சுழற்றினால், ஒரு நிலையில் படிவம் மறைகின்றது.

இந்நிலையில் வட்ட அளவுகோலின் குறி முள் காட்டும் அள வீடு S_1-ஐக் குறித்துக்கொள்ளவும். திரவத்தினுள் காற்றுச் சிமிழ் படம் 3.18-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ள நிலை 1-ஐப் போன்று அமைந் திருக்கும். பின்னர் இடது பக்கமாகக் காற்றுச் சிமிழைச் சுழற்றவும்

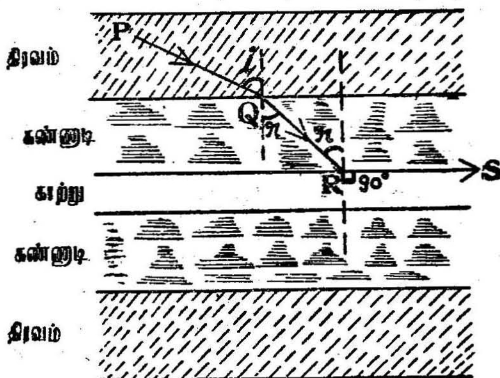


படம் 3 18.

படுகதிருக்குக் குத்தாக சிமிழ் அமையும் நிலையைக் கடந்து, பிளவின் படிவம் மீண்டும் மறையும். மறையும் நிலையில் குறி முள் காட்டும் அளவீடு S_2-வைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இந்நிலையில் காற்றுச் சிமிழ் நிலை – 2-ஐப் போன்று அமையும். இவ்விரு அளவீடுகளுக் கிடைப்பட்ட வேறுபாடு திரவத்தின் மாறுநிலைக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்காகும்.

படம் 3.19-ல் PQ என்பது திரவத்தினுள் அமையும் படுகதிர் எனக் கொள்வோம். இக்கதிரானது திரவக் கண்ணாடி பிரிதளத்தில் அமையும் Q-வில் பட்டு, காற்றுச் சிமிழின் கண்ணாடித் தகட்டில் ஒளிவிலகல் அடைகின்றது. திரவத்தைவிட கண்ணாடிக்கு ஒளிவிலகல் எண் அதிகமாகையால் குத்துக்கோட்டை நோக்கி விலகின்றது. விலகுகதிர், QR திசையில் சென்று கண்ணாடி காற்று இவைகளின் பிரிதளத்தில் அமைந்துள்ள புள்ளி R-ல் விலகல் அடைகின்றது. கண்ணாடியிலிருந்து காற்றுக்குச் செல்வதால், குத்துக்கோட்டைவிட்டு விலகிச் செல்கின்றது.

படிவம் மறையும் நிலைக்குச் காற்றுச் சிமிழ் சுழற்றப்படும்பொழுது R-ல் விலகலுக்குப் பின்னர் கதிர் RS திசையில் பிரிதளத்தை



படம் 3.19. காற்றுச் சிமிழின் குறுக்கு முகப்புத் தோற்றம்

யொட்டிச் செல்கின்றது. எனவே, விலகுகோணம் 90° ஆக உள்ளது. அதாவது R-ல் படுகோணமான $\angle R = r$ கண்ணாடியின் மாறுநிலைக் கோணமாகிறது.

படிவம் மறையும் நிலையில் $\angle PQN = i$ என்றும்,

$\angle RQN' = r$ என்றும் கொள்வோம்.

Q-வில் ஏற்படும் ஒளிவிலகலைக் கருத, திரவத்தைப் பொறுத்தக் கண்ணாடியின் விலகல் எண்,

$$_{L}\mu_{g} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \frac{\mu_{g}}{\mu_{L}} \quad (1)$$

$$\left[\because \ _{L}\mu_{g} = \frac{\mu_{g}}{\mu_{L}}\right]$$

R-ல் ஏற்படும் ஒளிவிலகலைக் கருத,

$$\frac{\text{சைன் } r}{\text{சைன் } 90} = {}^{g}\mu_{a}$$

அல்லது,

$$^{a}\mu_{g} = \frac{1}{\text{சைன் } r} \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$ {}^{L}\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_L} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \mu_g \text{ சைன் } i $$

$$ \left[\because \frac{1}{\text{சைன் } r} = \mu_g \right] $$

அதாவது,

$$ \frac{\mu_g}{\mu_L} = \mu_g \text{ சைன் } i $$

அல்லது,

$$ \frac{1}{\mu_L} = \text{சைன் } i $$

அல்லது,

$$ \mu_L = \frac{1}{\text{சைன் } i} \qquad (3) $$

சமன்பாடு (3)-லிருந்து திரவக்-கண்ணாடி பிரிதளத்தில் படுகோணமாகிய $\angle PQN = i$, திரவத்தின் மாறுநிலைக் கோணமாக அமைகின்றது என்று தெரிகின்றது. அதாவது கதிர்கள் குத்தாக விழும் நிலையிலிருந்து, படிவம் மறையும் வரை சிமிழ் சுழற்றப்படும் கோணம், மாறுநிலைக் கோணமாகின்றது.

எடுத்துள்ள அளவீடுகள் S_1, S_2 இவைகளுக்கிடையேயான வேறுபாடு $2c$-க்குச் சமமாகும். எனவே c-யைக் கணக்கிட்டு $\mu_L = \dfrac{1}{\text{சைன் } c}$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஒளிக்கதிரொன்று நீரிலிருந்து சென்று கண்ணாடியின்மீது பிரிதளத்தில் 60° படுகோணத்தில் படுகின்றது. கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண் $\frac{3}{2}$, நீரின் விலகல் எண் $\frac{4}{3}$ எனில், விலகு கோணத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

கணக்கின்படி $i = 60°$ படுகோணமாகும்; விலகு கோணத்தை 'r' எனக்கொண்டால், நீரிலிருந்து கதிர் கண்ணாடிக்குச் செல்வதினால்,

$$ \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = {}^{w}\mu_g \text{ ஆகும்.} $$

ஆனால்

$$ {}^{w}\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w} = \frac{3/2}{4/3} = \frac{9}{8} $$

அதாவது, $\frac{\text{சைன் } 60}{\text{சைன் } r} = \frac{9}{8}$

அல்லது, சைன் r = சைன் $60° \times \frac{8}{9}$

$$ = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{8}{9} $$

$$ = 0{\cdot}7698 $$

எனவே, $r = 50° 20'$ ஆகும்.

2. ஒளிவிலகல் எண் $\frac{3}{2}$ மதிப்புக் கொண்ட ஊடகத்திலிருந்து ஒளிவிலகல் எண் $\frac{4}{3}$ மதிப்பு கொண்ட ஊடகத்திற்குக் கதிர் செல்லும் பொழுது மாறுநிலைக் கோணத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

கதிர் அடர்வுமிக்க ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறை ஊடகத்திற்குச் செல்கின்றது. அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்

$$ {}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\text{சைன் } 90}{\text{சைன் } c} $$

அதாவது, சைன் $c = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9}$

$$ c = \text{சைன்}^{-1}\left(\frac{8}{9}\right) $$

$$ = 66°44' $$

3. கண்ணாடி–காற்று பிரிதளத்திற்கு மாறுநிலைக் கோணம் $41° 48'$. தண்ணீர்–காற்று பிரிதளத்திற்கு மாறுநிலைக் கோணம் $48° 36'$. கண்ணாடி–நீர் பிரிதளத்திற்கான மாறுநிலைக்கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண் $= \frac{1}{\text{சைன் } 41°48'} = \mu_g$

தண்ணீரின் ஒளிவிலகல் எண் $= \frac{1}{\text{சைன் } 48°36'} = \mu_w$

$$ \therefore \ {}_w\mu_g = \frac{\text{சைன் } 48°36'}{\text{சைன் } 41°48'} $$

$$ = 1.126 $$

கண்ணாடி–நீர் பரப்பில் ஏற்படும் மாறுநிலைக் கோணத்தை c எனக் கொண்டால்,

$$\text{சைன் } c = \frac{1}{1.126} = 0.8836$$

$\therefore$ மாறுநிலைக் கோணம் $c = 62°42'$.

4. 60° கோணத்தைக் கொண்ட பட்டகமொன்றின் ஒளி விலகல் எண் 1.532. சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

ஒளிவிலகல் எண் காணும் சமன்பாடு,

$$\mu = \frac{\text{சைன் } \frac{A+D}{2}}{\text{சைன் } A/2}$$

கணக்கின்படி $A = 60°$

$\mu = 1.532$

$D = ?$

எனவே

$$1.532 = \frac{\text{சைன் } \left(\frac{A+D}{2}\right)}{\text{சைன் } 60/2} = \frac{\text{சைன் } \left(\frac{A+D}{2}\right)}{0.5}$$

$$\therefore 1.532 \times 0.5 = \text{சைன் } \left(\frac{A+D}{2}\right)$$

$$0.7660 = \text{சைன் } \left(\frac{A+D}{2}\right)$$

லாக்கிரத அட்டவணையில் 0.7660-க்கான சைன் கோணத்தைக் காண,

$$0.7760 = \text{சைன் } 50° = \text{சைன் } \left(\frac{A+D}{2}\right)$$

$$\therefore A+D = 100$$
$$D = 100-60 = 40°$$

5. 72° விலக்குக் கோணமும், 1.66 ஒளிவிலகல் எண்ணும் கொண்டதொரு பட்டகம் 1.33 ஒளிவிலகல் எண் கொண்டதொரு திரவத்தில் மூழ்கியிருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளது. பட்டகத்தினுள் ஊடுருவிச் செல்லும் இணைக்கற்றை யொன்றிற்கு சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

சிறும திசை மாற்றம் ஏற்படும் நிலையில், பட்டகத்தின் கோணம் A எனவும், விலகுகோணம் r எனவும் கொண்டால்,

$$A = 2r$$

$$\therefore \quad r = A/2 = \frac{72}{2} = 36°.$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{திரவத்தைப் பொறுத்த கண்ணாடியின்} \\ \text{ஒளிவிலகல் எண் } {}_l\mu_g\end{array}\right\} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$$

$$= \frac{1.66}{1.33}$$

$$\therefore \quad \text{சைன் } i = \frac{1.66}{1.33} \times \text{சைன் } 36°$$

$$= 0.7335$$

$$i = \text{சைன்}^{-1}\,(0.7335)$$

$$= 47°11'$$

ஆனால் D_m என்பது சிறும திசை மாற்றக் கோணமெனில்,

$$A + D_m = 2i = 2 \times 47°11'$$

$$= 94°22'$$

$$\therefore \quad D_m = 94°22' - A$$

$$= 94°22' - 72°$$

$$D_m = 22°22' \text{ ஆகும்.}$$

6. ஒளியை ஊடுருவிச் செல்லுமாறு செய்யும் 90° கோணம் கொண்ட பட்டகமொன்றின் பெரும ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

5. 72° விலக்குக் கோணமும், 1.66 ஒளிவிலகல் எண்ணும் கொண்டதொரு பட்டகம் 1.33 ஒளிவிலகல் எண் கொண்டதொரு திரவத்தில் மூழ்கியிருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளது. பட்டகத்தினுள் ஊடுருவிச் செல்லும் இணைக்கற்றை யொன்றிற்கு சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

சிறும திசை மாற்றம் ஏற்படும் நிலையில், பட்டகத்தின் கோணம் A எனவும், விலகுகோணம் r எனவும் கொண்டால்,

$$A = 2r$$

$$\therefore \; r = A/2 = \frac{72}{2} = 36°.$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{திரவத்தைப் பொறுத்த கண்ணாடியின்} \\ \text{ஒளிவிலகல் எண் } {}_l\mu_g\end{array}\right\} = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$$

$$= \frac{1.66}{1.33}$$

$$\therefore \; \text{சைன் } i = \frac{1.66}{1.33} \times \text{சைன் } 36°$$

$$= 0.7335$$

$$i = \text{சைன்}^{-1}\,(0.7335)$$

$$= 47°11'$$

ஆனால் D_m என்பது சிறும திசை மாற்றக் கோணமெனில்,

$$A + D_m = 2i = 2 \times 47°11'$$

$$= 94°22'$$

$$\therefore \; D_m = 94°22' - A$$

$$= 94°22' - 72°$$

$$D_m = 22°22' \text{ ஆகும்.}$$

6. ஒளியை ஊடுருவிச் செல்லுமாறு செய்யும் 90° கோணம் கொண்ட பட்டகமொன்றின் பெரும ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

பட்டகத்தின் விலகலை ஏற்படுத்தும் கோணம், மாறுநிலைக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்குக்கு அதிகமாக இருக்கக் கூடாது. அதாவது கணக்கின்படி,

$$90 \leq 2c$$

அல்லது $c \geq 45^\circ$

சைன் $c \geq$ சைன் 45°

$$\geq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

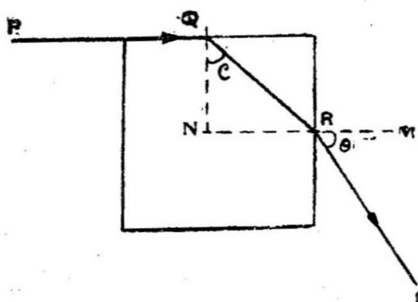
ஆனல் சைன் $c = \frac{1}{\mu}$

$$\therefore \quad \frac{1}{\mu} \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\mu \leq \sqrt{2}$$

μ–வின் பெரும மதிப்பு $\sqrt{2}$ ஆகும்.

7. ஒரு கனச்சதுரக் கண்ணுடியின் மேல்பாகத்தில் தவழ் நிலையில் கதிரொன்று படுகிறது. கண்ணுடிச் சதுரத்தின் மாறு நிலைக்கோணம் c யாகும். கதிர்படும் திசைக்குக் குத்தாக உள்ள கனச் சதுரத்தின் முகப்பின் வழியாக விடுபடும் கதிர் ஏற்படுத்தும் கோணம் θ எனில், சைன் $\theta =$ காட் c எனக் காட்டுக. மேலும் குத்து முகப்பரப்பில் விடுகதிர் உண்டாக, கண்ணுடி கனச் சதுரத்தின் பருப்பொருள் பெறக்கூடிய பெரும ஒளிவிலகல் எண்ணின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.



படம் 3.20

கனச் சதுரக் கண்ணுடியின்மீது கதிர் PQ தவழ்நிலையில் படுவதாகக்கொள்வோம். கதிர் விலகலுக்குப் பின்னர் QR

திசையில் விலகலடைந்து, RS-திசையில் குத்து முகப்பிலிருந்து வெளிப்படுகின்றது.

$\angle NQR = c$ (மாறுநிலைக் கோணம்)

$\angle QRN = 90 - c$

விடுகோணம் $\angle MRS = \theta$ எனில்,

ஸ்னெல்லின் விதிப்படி, R–ல் விலகலைக் கருத,

$$^{g}\mu_{a} = \frac{1}{\mu_g} = \frac{\text{சைன்}\ (90 - c)}{\text{சைன்}\ \theta}$$

$$= \frac{\text{காஸ்}\ c}{\text{சைன்}\ \theta}$$

ஆனால்

$$\frac{1}{\mu_g} = \text{சைன்}\ c$$

$$\therefore \quad \text{சைன்}\ c = \frac{\text{காஸ்}\ c}{\text{சைன்}\ c}$$

அல்லது

$$\text{சைன்}\ \theta = \frac{\text{காஸ்}\ c}{\text{சைன்}\ c}$$

$$= \text{காட்}\ c \text{ ஆகும்.}$$

விடுகதிர் RS ஏற்படுத்தக்கூடிய கோணம் θ-வின் பெரும மதிப்பு 90° ஆகும்.

$$\text{எனவே, காட்}\ c = \text{சைன்}\ 90^\circ = 1$$

$$\text{அல்லது}\quad c = \text{காட்}^{-1}\ 1$$

$$= 45^\circ$$

$$\therefore \quad \left.\begin{array}{r}\text{ஒளிவிலகல் எண்ணின்}\\ \text{பெரும மதிப்பு}\end{array}\right\} = \frac{1}{\text{சைன்}\ 45^\circ} = 1{\cdot}414$$

வினாக்கள்

1. முழு அக எதிரொளிப்பு, மாறுநிலைக் கோணம் ஆகியவைகளை விளக்கிக் கூறவும்;

   மாறுநிலைக் கோணத்தை அளப்பதின் மூலம் திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணும் முறையைக் கொள்கையுடன் விவரித்து எழுதுக.

2. முப்பட்டகம் ஒன்றில் ஒளிக்கதிரானது விலகல் அடைவதற்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

3. "சிறும திசை மாற்றம்" என்றால் என்ன? சிறும திசை மாற்றத்திற்கான நிபந்தனையைப் பெறுக.

4. சிறும திசைமாற்றத்திற்கான நிபந்தனையைக் கண்டு, $\mu = \frac{\text{சைன் } A+D/2}{\text{சைன் } A/2}$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

5. முழு அக எதிரொளிப்புக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணும் முறையை விவரித்து எழுதுக.

6. முப்பட்டகமொன்றின் வழியே ஒளிவிலகல் ஏற்பட வேண்டுமெனில், அதன் விலக்குக் கோணம் (Refracting angle) அதன் பருப் பொருளினுடைய மாறுநிலைக் கோணத்தைப் போன்று இருமடங்குக்குமேல் இருக்க முடியாது எனக் காட்டுக.

7. புல்பிரிஷ் (Pulfrich) விலகல்மானியின் அமைப்பை விளக்கி திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணும் முறையைவிவரி.

8. முழு அக எதிரொளிப்பை விளக்கி எழுதவும். உல்லாஸ்டின் (Wollastin's) முறையில் திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணும் முறையைக் கொள்கையுடன் விளக்குக.

9. திடப்பொருளின் ஒளிவிலகல் எண்களையும், திரவங்களின் ஒளிவிலகல் எண்களையும், அவற்றின் மாறுநிலைக் கோணங்களைத் தீர்மானிப்பதன் மூலம் காண இயலும் சோதனைகளைப்பற்றி எழுதுக.

10. 86·5 செ.மீ., உயரம் கொண்ட கனசதுர தொட்டி நிறைய தண்ணீர் உள்ளது. தொட்டியின் அடியில் ஒரு பக்கத்திற்கு அருகில் பொலிவுமிக்க பொருளொன்று உள்ளது. 132·5 செ.மீ., உயரம் கொண்ட மனிதன் பொருள் அமைந்துள்ள பக்கத்திற்கு எதிரில் நிற்கின்றான். பொருளைப் பார்க்கும் வகையில், அம் மனிதன் தொட்டியினின்று இன்னும் எவ்வளவு தூரம் நகர இயலும்?

தண்ணீரின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 1·3 எனக்கொள்க. (111 செ.மீ.,)

11. ஒளிவிலகல் எண் 2·47 கொண்ட வைரத்திலிருந்து ஒளிக் கதிரொன்று, ஒளிவிலகல் எண் 1·51 கொண்ட கண்ணுடிக்கு வருகின்றது. மாறுநிலைக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக. (37° 24′)

12. கண்ணுடியின் மாறுநிலைக் கோணம் 38° 42′. கிளிசரினின் (Glycerin's) மாறுநிலைக் கோணம் 44° 42′. கண்ணுடி கிளிசரின் பரப்பின் மாறுநிலைக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக. (67° 12′)

4. கோளப் பரப்புகளில் ஒளிவிலகல்

4.1. வடிவியல் ஒளியியலில் கோளப் பரப்புகளைக்கொண்ட வில்லைகள் முக்கியமானவை. வில்லைகள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட கோளப் பரப்புகளைக் கொண்டவையாதலால், கோளப் பரப்புக்கள் படிவங்களை உண்டாக்குதலைப்பற்றி படிப்பது அவசியமாகின்றது. இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பரப்பு கோளப் பரப்பாக அமைகின்றது எனக் கொள்வோம். இப் பரப்பு குழி அல்லது குவிப்பரப்பாக இருக்கலாம். குவிகோளப் பரப்பில் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் ஏற்படும் படிவம், பரப்பின் மையத்திலிருந்து பொருள் இருக்கும் தூரத்தைப் பொறுத்தது. இப்படி உண்டாகும் படிவம், பொருள் அமைந்துள்ள பக்கத்திற்கு எதிர் பக்கத்தில் உண்மைப் படிவமாகவோ, அல்லது அதே பக்கத்தில் மாயப் படிவமாகவோ இருக்கும். குழிகோளப் பரப்பெனில், பரப்பிற்கு முன்னால் பொருள் எங்கு அமைந்திருந்தாலும், உண்டாகும் படிவம் மாயப் படிவமாகும்.

4.2. குறியீட்டு மரபு

பொருள்களும் படிவங்களும் கோளப் பரப்புகளில் ஒரே பக்கத்தில் அமைவதில்லை. எனவே கோளப் பரப்புகளிலிருந்து அளவிடப்படும் தூரங்களைக் குறிப்பதற்கான பொதுவானதொரு குறியீட்டு மரபு (Sign convention) தேவையாகின்றது. நாம் கருதும் குறியீட்டு மரபுப்படி பொருள்கள், படிவங்கள், பரப்புக்களின் வளைவு மையங்கள் முதலியவைகளின் தொலைவுகள் பரப்பின் மையத்திலிருந்து அளக்கப்படுதல் வேண்டும். ஒளிக் கதிர்கள் உண்மையில் பரவும் வெளிகளில் (Spaces) அமையும் தூரங்களை நேர்க்குறியுடனும், ஒளிக்கதிர்கள் பரவாத வெளிகளில் அமையும் தூரங்களை எதிர்க்குறியுடனும் கொள்ள வேண்டும். அதாவது உண்மையான பொருள்கள், உண்மையான படிவங்கள் ஆகியவைகளின் தூரங்கள் நேர்க்குறியுடனும், மாயப் பொருள்கள்

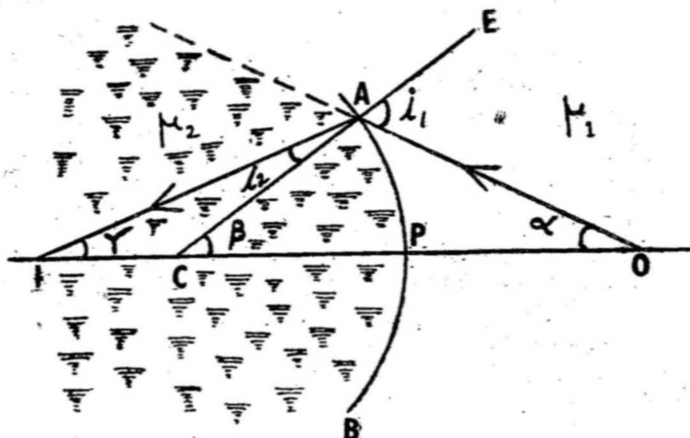
மாயப் படிவங்கள் ஆகியவைகளின் தூரங்களை எதிர்க் குறியுடனும் இருப்பதாகக் கொள்ள வேண்டும்.

இக் குறிறியீட்டு மரபுப்படி குவி வளைபரப்பு குறைந்த அடர் கொண்ட ஊடகத்தை நோக்கியிருக்குமானல் பரப்பின் வளைவு ஆரம் நேர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

குழி வளைபரப்பு குறைந்த அடர்வு கொண்ட ஊடகத்தை நோக்கியிருக்குமானல் வளைவு ஆரம் எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

4.3(1) குவிப்பரப்பில் ஒளிவிலகல்—உண்மைப்படிவம் உண்டாதல்

படம் 4.1-ல் APB என்பது முறையே μ_1, μ_2 என்னும் ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண்ட இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் குவிப்பரப்பு ஆகும். இங்கு $\mu_2 > \mu_1$ என்று கொள்வோம். குவிப் பரப்பின் அச்சின்மீது O-என்னும் புள்ளி ஒளிப் பொருள் வைக்கப்



படம் 4.1 குவிப் பரப்பில் ஒளிவிலகல் உண்மைப்படிவம்

பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். O-விலிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்களில் ஒன்ருன OA, P-க்கு மிக அருகில் அமைந்துள்ள A-யின்மீது படுவதாகக் கொள்வோம். குவிப்பரப்பில் விலகலுக்குப் பின்னர், இரண்டாவது ஊடகத்தில் AI திசையில் ஒளிக்கதிர் செல்கின்றது. இவ்விலகு கதிர் அச்சை I என்னும் புள்ளியில் சந்திக்கட்டும். I-பொருள் O-வின் உண்மையான படிவமாகும் குவிப்பரப்பின் வளைவு மையம் C எனில் AC-யைச் சேர்த்து E வரை நீட்டவும். $\angle OAE = i_1$ என்பது படுகோணமாகும் $\angle IAC = i_2$ என்பது விலகு கோணமாகும்.

$$\mu_1 \text{ சைன் } i_1 = \mu_2 \text{ சைன் } i_2 \text{ ஆகும்.}$$

கோணங்கள் i_1, i_2 ஆகியவை குறைந்த மதிப்புகளைக் கொண்வையெனில்,

$$\mu_1 . i_1 = \mu 2 . i_2 \qquad (1)$$

படம் 4.1-ல் $\angle AOP = \alpha$, $\angle ACP = \beta$, $\angle AIP = \gamma$ எனக் கொள்வோம்.

$\triangle\ OAC$–யிலிருந்து,

வெளிக்கோணம் $i_1 = \alpha + \beta \qquad (2)$

எனவும், $\triangle\ AIC$–யிலிருந்து, $\beta = i_2 + \gamma$

அல்லது $i_2 = \beta - \gamma \qquad (3)$

எனவும் எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் (2), (3) இவைகளிலிருந்து i_1, i_2 ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களை சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu_1 (\alpha + \beta) = \mu_2 (\beta - \gamma),$$

அல்லது $\mu_1 \alpha + \mu_2 \gamma = (\mu_2 - \mu_1) \beta \qquad (4)$

A-யின் வழியாக அச்சிற்கு AN என்னும் குத்துக்கோடு வரையவும். கோணங்கள் α, β, γ ஆகியவை குறைந்த மதிப்புகளைக் கொண்டவையெனில், அவைகளின் டேன் மதிப்புகளிலிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\text{டேன் } \alpha = \frac{AN}{PO}$$

$$\text{டேன் } \beta = \frac{AN}{PC}$$

$$\text{டேன் } \gamma = \frac{AN}{PI}$$

N-ஆனது P-க்கு மிக அருகில் உள்ளது எனில்,

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{AP}{FO} \\ \beta &= \frac{AP}{PC} \\ \gamma &= \frac{AP}{PI} \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

என எழுதலாம்.

கோணங்கள் α, β, γ இவைகளின் மதிப்புகள் சமன்பாடு (4)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu_1 \frac{AP}{PO} + \mu_2 \frac{AP}{PI} = (\mu_2 - \mu_1) \frac{AP}{PC}$$

அல்லது

$$\frac{\mu_1}{PO} + \frac{\mu_2}{PI} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{PC} \text{ ஆகும்.}$$

வழக்கமான குறியீடுகளின்படி, P-யிலிருந்து O-விற்கான தூரம் $PO = U$ என்றும், P-யிலிருந்து படிவம் அமையும் தூரம் $PI = V$ என்றும் கொள்வோம். மேலும் வளைபரப்பின் வளைவு ஆரம் $PC = R$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_1}{U} + \frac{\mu_2}{V} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R} \text{ ஆகும்.}$$

குறியீட்டு மரபுப்படி U, V இரண்டும் உண்மையான தூரங்கள். குவிபரப்பு அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தை நோக்கி இருப்பதனால் R-ம் நேர்க் குறியைக் கொண்டது ஆகும். எனவே ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{\mu_1}{U} + \frac{\mu_2}{V} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R} \text{ ஆகும்.}$$

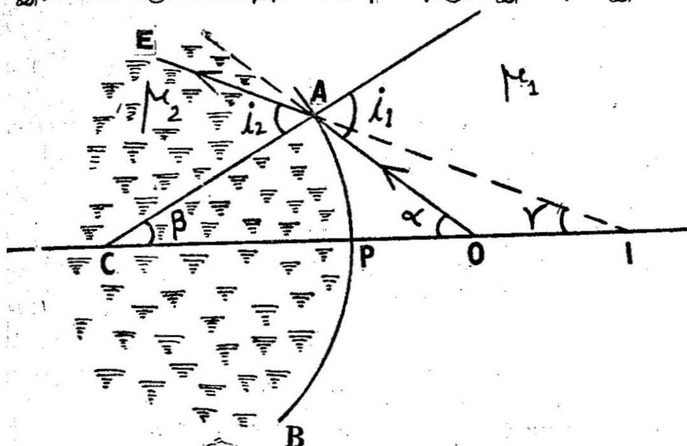
பொருள் அமையும் புள்ளி O-வும், படிவம் அமையும் புள்ளி I-யும் பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் எனப்படும். ஏனெனில் பொருளை இரண்டாவது ஊடகத்தில் I-ல் வைத்தால், பிரிதளத்தில் படும் IA என்னும் கதிருக்கு முதல் ஊடகத்தில் AO என்னும் விலகுகதிர் உண்டாகும். இதனால் I-யில் பொருள் இருந்தால் O-வில் படிவம் உண்டாகும்.

4.4. குவிப்பரப்பில் ஒளிவிலகல்—மாயப் படிவம் உண்டாதல்:

படம் 4.2-ல் APB என்பது μ_1, μ_2 என்னும் ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண்ட ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் குவிப் பரப்பாகும்.

புள்ளி ஒளிப் பொருள் O-விலிருந்து OA என்னும் ஒளிக்கதிர் குவிப்பரப்பின்மீது படுவதாகக் கொள்வோம்.

படுகதிர் OA விலகலுக்குப் பின்னர் AE என்னும் விலகு கதிராக இரண்டாவது ஊடகத்தில் பரவுகின்றது. இக் கதிர் இரண்டா



படம் 4.2. குவிப்பரப்பில் ஒளிவிலகல்—மாயப்படிவம்

வது ஊடகத்தில் முக்கிய அச்சைச் சந்திக்காது. ஆகவே இரண்டாவது ஊடகத்தில் படிவம் ஏற்படாது. விலகுக்திர் AE-யைப் பின்னோக்கி நீட்டினால் அது அச்சை I ல் சந்திக்கும். I-ல் O-வின் படிவம் உண்டாகும். எனவே I மாயப் படிவமாகும். அதாவது O-வும் I-யும் பரப்பிற்கு ஒரே பக்கத்தில் அமைகின்றன. A-யில் ஏற்படும் ஒளிவிலகலைக் கருத,

$$\mu_1 i_1 = \mu_2 i_2 \qquad (1)$$

மேலும் $\triangle AOC$-யிலிருந்து,

$$\angle i_1 = \alpha + \beta \qquad (2)$$

முக்கோணம் AIC-யிலிருந்து,

$$\angle i_2 = \gamma + \beta \qquad (3)$$

சமன்பாடு (1)-ல் i_1, i_2-க்கான மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu_1 (\alpha + \beta) = \mu_2 (\gamma + \beta)$$

அல்லது

$$\mu_1 \alpha - \mu_2 \gamma = (\mu_2 - \mu_1) \beta \qquad (4)$$

கோணங்கள் α, β, γ ஆகியவை குறைந்த மதிப்புக்களைக் கொண்டிருக்குமேயானால், அவைகளின் டேன் மதிப்புகளால் குறிக்கலாம்.

எனவே $\alpha = \dfrac{AP}{PO}$; $\beta = \dfrac{AP}{PC}$; $\gamma = \dfrac{AP}{PI}$ ஆகும்.

சமன்பாடு (4)-ல் இந்த மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$\mu_1 . \frac{AP}{PO} - \mu_2 \frac{AP}{PI} = (\mu_2 - \mu_1) \frac{AP}{PC}$$

மேலும் வழக்கமான குறியீடுகளின்படி,

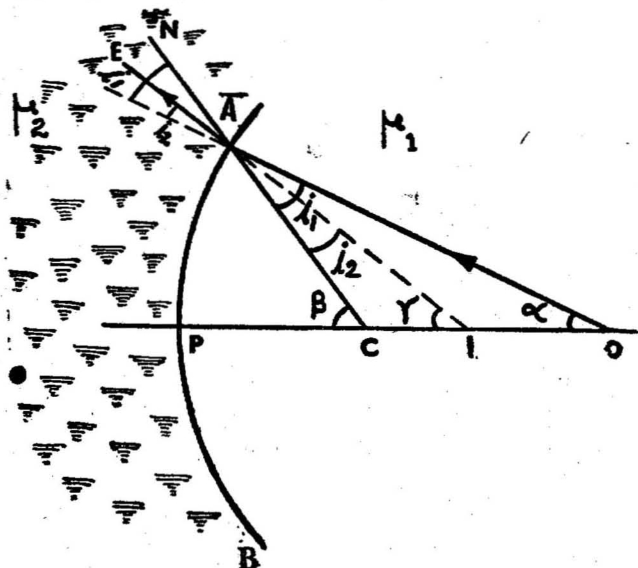
$PO = U$, $PI = V$, $PC = R$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_1}{U} - \frac{\mu_2}{V} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$ என ஆகும்.

குறியீட்டு மரபுப்படி U நேர்க்குறியுடனும், மாயப் படிவம் உண்டாவதால் V எதிர்க் குறியுடனும் அமைகின்றன. குவிப்பரப்பு அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தை நோக்கி இருப்பதால் R-ன் மதிப்பு நேர்க்குறியுடன் இருக்கும். எனவே, மாயப் படிவம் உண்டாகும் பொழுது ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$ என ஆகும்.

4.6 குழிப் பரப்பில் ஒளிவிலகல்



படம் 4.3 குழிப் பரப்பில் ஒளிவிலகல்

படம் 4.3-ல் APB என்பது முறையே μ_1, μ_2 என்னும் ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண்ட இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் குழிப்பரப்பு

ஆகும். குழிவான பக்கம் அடர்வு குறை ஊடகத்தை நோக்கி யிருக்கின்றதெனக் கொள்வோம். குழிப் பரப்பின் அச்சின்மீது. அடர்வு குறை ஊடகத்தில் பொருள் O வைக்கப்பட்டுள்ளதெனக் கொள்வோம். குழிப் பரப்பின் மீது P-க்கு வெகு அருகில் OA என்னும் ஒளிக்கதிர் விழுவதாகக் கொள்வோம். A-யில் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் கதிர் AE என்னும் திசையில் விலகு எதிராக இரண்டாவது ஊடகத்தில் செல்லட்டும். இக் கதிர் AE இரண்டாவது ஊடகத்தில் அச்சைச் சந்திக்காது. எனவே, படிவம் இரண்டாவது ஊடகத்தில் ஏற்படாது. இதனால் கதிர் AE யை பின்பக்கமாக நீட்ட, அது அச்சை முதல் ஊடகத்திலேயே I-ல் சந்திக்கட்டும். I தான் O-வின் படிவமாகும். பொருளும் படிவமும் பரப்பிற்கு ஒரே பக்கத்தில் அமைவதால், மாயப் படிவம்தான் உண்டாகும். பரப்பின் வளைவு மையம் C எனில் CA வை இணைத்து, N வரை நீட்டவும்.

படம் 4.3-ல் கோணங்கள் $\angle i_1 = \angle OAC$, படுகோணமாகவும் $\angle NAE = i_2 = \angle IAC$ விலகு கோணமுமாகும். படுகோணம், விலகுகோணம் ஆகியவற்றின் மதிப்புக்கள் மிகவும் குறைவு எனில், A-யில் ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு

$$\mu_1 i_1 = \mu_2 i_2 \qquad (1)$$

$$\triangle\ CAO\text{-வில் } i_1 = \beta - \alpha \qquad (2)$$

$$\triangle\ IAC\text{-விருந்து } i_2 = \beta - \gamma \qquad (3)$$

கோணங்கள் i_1, i_2 இவைகளுக்கான மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடுசெய்ய,

$$\mu_1(\beta - \alpha) = \mu_2(\beta - \gamma)$$

அல்லது

$$(\mu_2 - \mu_1)\beta = \mu_2\gamma - \mu_1\alpha \qquad (4)$$

கோணங்கள் α, β, γ சிறியவை எனில்,

$$\alpha = \frac{AP}{PO};\ \beta = \frac{AP}{PC};\ \gamma = \frac{AP}{PI} \text{ என எழுதலாம்.}$$

சமன்பாடு (4)-இல் இந்த மதிப்புக்களைப் பதிலீடுசெய்ய,

$$(\mu_2 - \mu_1)\frac{AP}{PC} = \mu_2\frac{AP}{PI} - \mu_1\frac{AP}{PO}$$

ஆனுல் வழக்கமான குறியீடுகளின்படி, $PO = U, PI = V$, $PC = R$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} - \frac{\mu_1}{U} \text{ என ஆகும்.}$$

U நேர்க்குறியைக் கொண்டுள்ளது. மாயப் படிவம் உண்டாவதால் V எதிர்க் குறியைக் கொள்ளும். குழிப்பரப்பு அடர்வு குறை ஊடகத்தை நோக்கி உள்ளமையால், R எதிர்க் குறியுடன் இருக்கும்.

எனவே விலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$-\frac{(\mu_2 - \mu_1)}{R} = -\frac{\mu_2}{V} - \frac{\mu_1}{U} \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} \text{ என்று ஆகும்.}$$

4.6 காற்றில் விலகலுக்கான சமன்பாடு:

இரண்டு ஊடகங்களில் ஒன்று காற்று எனக் கொள்வோம். எனவே அதன் ஒளிவிலகல் எண் $\mu_1 = 1$ என்றும் இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $\mu_2 = \mu$ என்றும் கொள்ளலாம். எனவே பொருள் காற்றில் வைக்கப்பட்டால், ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு.

$$\frac{\mu - 1}{R} = \frac{\mu}{V} + \frac{1}{U} \text{ எனக் கிடைக்கும்.}$$

4.7. பரப்பின் திறனும் முக்கியக் குவியமும் :

குழி. குவி பரப்புகளில் ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U}$$

எனப் பார்த்தோம். இச் சமன்பாட்டில் $\frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ என்னும் மதிப்பு, பரப்பின் திறன் (Power of the Surface) எனப்படும். மேலும் திறனை P எனக் குறித்தால்,

$$P = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R} \text{ ஆகும்.} \qquad (1)$$

ஆனால் வழக்கமான குறியீடுகளின்படி, $PO = U, PI = V, PC = R$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} - \frac{\mu_1}{U} \text{ என ஆகும்.}$$

U நேர்க்குறியைக் கொண்டுள்ளது. மாயப் படிவம் உண்டாவதால் V எதிர்க் குறியைக் கொள்ளும். குழிப்பரப்பு அடர்வு குறை ஊடகத்தை நோக்கி உள்ளமையால், R எதிர்க் குறியுடன் இருக்கும்.

எனவே விலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{(\mu_2 - \mu_1)}{R} = -\frac{\mu_2}{V} - \frac{\mu_1}{U} \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} \text{ என்று ஆகும்.}$$

4.6 காற்றில் விலகலுக்கான சமன்பாடு :

இரண்டு ஊடகங்களில் ஒன்று காற்று எனக் கொள்வோம். எனவே அதன் ஒளிவிலகல் எண் $\mu_1 = 1$ என்றும் இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $\mu_2 = \mu$ என்றும் கொள்ளலாம். எனவே பொருள் காற்றில் வைக்கப்பட்டால், ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு.

$$\frac{\mu - 1}{R} = \frac{\mu}{V} + \frac{1}{U} \text{ எனக் கிடைக்கும்.}$$

4.7. பரப்பின் திறனும் முக்கியக் குவியமும் :

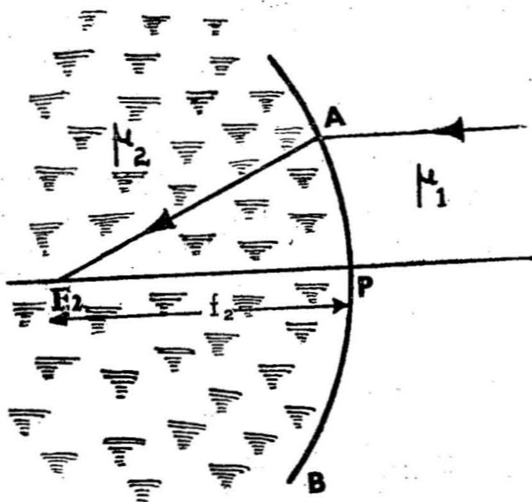
குழி. குவி பரப்புகளில் ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U}$$

எனப் பார்த்தோம். இச் சமன்பாட்டில் $\frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ என்னும் மதிப்பு, பரப்பின் திறன் (Power of the Surface) எனப்படும். மேலும் திறனை P எனக் குறித்தால்,

$$P = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R} \text{ ஆகும்.} \tag{1}$$

படம் 4.4-ல் உள்ளவாறு குவிப்பரப்பு ஒன்றின்மீது வெகுதூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளிலிருந்து வரும் இணைக்



படம் 4.4.

கதிர்கள் விலகல் அடைந்தால், விலகலுக்குப் பின்னர் அவை முக்கிய அச்சின்மீது ஒரு புள்ளியில் குவியும். கதிர்கள் குவியும் புள்ளி F_2 எனில், இப் புள்ளி இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் எனப் படும். F_2-க்கும் P-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் குவிய தூரம் எனப்படும்.

குவிப் பரப்பில் விலகலுக்கான சமன்பாட்டில், $U = \infty$, $V = f_2$ ஆகும்.

எனவே,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{f_2} - \frac{\mu_1}{\infty}$$

$$\therefore \ f_2 = \frac{\mu_2 \cdot R}{(\mu_2 - \mu_1)}$$

அல்லது

$$f_2 = \frac{\mu_2}{\frac{\mu_2 - \mu_1}{R}}$$

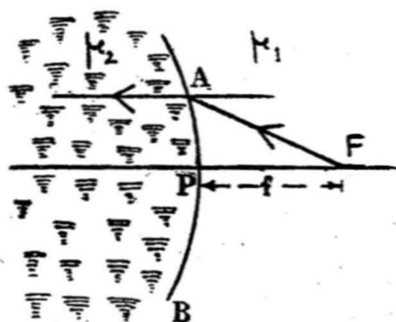
மேலும்

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = P \text{ ஆகும்.}$$

எனவே

$$f_2 = \frac{\mu_2}{P} \qquad (2)$$

ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்தும் பரப்பு குவிப் பரப்பு எனக் கொள் வோம். முதல் ஊடகத்தில் அப்பரப்பின் அச்சின்மீது ஒரு பொருள் குறிப்பிட்ட தூரத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது எனக் கொள் வோம். அப் பொருளிலிருந்து பரப்பின்மீது விழும் கதிர்கள் விலக லுக்குப் பின்னர் இரண்டாவது ஊடகத்தில் இணை கதிர்களாக வெளியேறுகின்றன.



படம் 4.5.

பொருள் குவிக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி F_1 (படம் 4.5) முதல் முக்கியக் யல் எனப்படும். PF_1 குவிய தூரமாகும்.

$FF_1 = f_1$ எனில், $U = f_1$, $V = \infty$ ஆகும்.

எனவே ஒளிவிலகல் சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_1}{f_1}$$

அல்லது

$$f_1 = \frac{\mu_1 R}{\mu_2 - \mu}$$

பரப்பின் திறன் P எனில், $f_1 = \frac{\mu_1}{P}$ ஆகும். (3)

மேலும் சமன்பாடுகள் (2), (3) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \qquad (4)$$

என்பது பெறப்படும்.

ஒளிவிலகல் சமன்பாடு $\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U}$ - வை,

அதன் திறன் $\frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$-ஆல் வகுக்க,

$$1 = \frac{\mu_2 . R}{(\mu_2 - \mu_1)V} + \frac{\mu_1 . R}{(\mu_2 - \mu_1)U}$$

என்பது கிடைக்கும்.

ஆனல் $f_2 = \frac{\mu_2 . R}{\mu_2 - \mu_1}; f_1 = \frac{\mu_1 . R}{(\mu_2 - \mu_1)}$ ஆகும்.

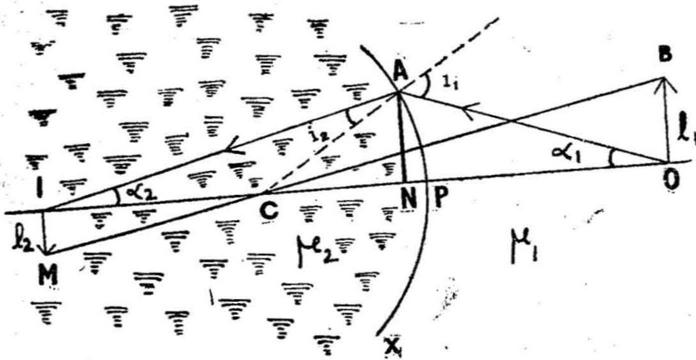
எனவே,

$$\frac{f_2}{V} + \frac{f_1}{U} = 1$$

என எழுதலாம்.

4.8. நீளப் பெருக்கமும் கோணப் பெருக்கமும் :

APX என்பது ஒரு குவிப் பரப்பு என்று கொள்வோம். அதன் இரு பக்கங்களிலும் உள்ள ஊடகங்களின் ஒளிவிலகல் எண்கள்



படம் 4.6.

முறையே μ_1, μ_2 எனக் கொள்வோம். $\mu_1 < \mu_2$ என்றும் குவிப் பரப்பு μ_1-ஐ நோக்கி உள்ளதென்றும் கொள்வோம்.

படம் (4.6). OB என்னும், l_1 அளவு நீளம் கொண்ட பொருள் ஊடகம் 1–ல், பரப்பின் அச்சின்மீது குத்தாக அமைந்துள்ளது எனக் கொள்வோம். பொருளிலிருந்து பரப்பின்மீது விழும் OA என்னும் கதிர் அச்சுடன் α_1 கோணத்தை ஏற்படுத்துவதாகக் கொள்வோம்.

விலகலுக்குப் பின்னர் இரண்டாவது ஊடகத்தில் அக் கதிர் AI என்னும் திசையில் சென்று அச்சை I-ல் வெட்டட்டும். I தான் O–வின் படிவமாகும். AI அச்சுடன் ஏற்படுத்தும் கோணத்தை α_2 எனக் கொள்வோம். பரப்பின் வளைவுமையம் C எனில், C–யின் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிர் BC விலகல் அடையாமல் செல்லும். எனவே I-யின் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோட்டை BC சந்திக்கும் புள்ளி தான் B–ன் படிவமாகும்.

படம் 4.5–ல் முக்கோணங்கள் OBC, IMC ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{OC}{CI} \qquad (1)$$

வழக்குப்படி, $PO = U$, $PI = V$, $PC = R$ எனில்,

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{OC}{CI} = \frac{OP + PC}{PI - PC}$$

$$= \frac{U + R}{V - R} \qquad (2)$$

என்னும் முடிவு கிடைக்கும்.

ஒளிவிலகல் சமன்பாடு,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U}$$ -வை UVR-ஆல் பெருக்க,

$$(\mu_2 - \mu_1)\, UV = \mu_2 UR + \mu_1 VR$$ என ஆகும்.

அல்லது

$$\mu_2 U (V - R) = \mu_1 V (U + R)$$

அல்லது

$$\frac{U+R}{V-R} = \frac{\mu_2 U}{\mu_1 V} \qquad (3)$$

என எழுதலாம்.

மேலும் படத்தில் $\triangle\ OAN$—ல்,

$$\text{டேன் } \alpha_1 = \frac{AN}{ON}$$

$$= \frac{AP}{U} \qquad (5)$$

[$\because$ P-க்கு வெகு அருகில் A இருப்பின் N, P-யுடன் பொருந்தும்].

$\triangle\ IAN$-ல்

$$\text{டேன் } \alpha_2 = \frac{AN}{IN}$$

$$= \frac{AP}{V} \qquad (6)$$

சமன்பாடுகள் (5), (6) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{\text{டேன் } \alpha_2}{\text{டேன் } \alpha_1} = \frac{U}{V} \qquad (7)$$

ஆகும்.

சமன்பாடுகள் (2), (3) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{U + R}{V - R} = \frac{\mu_2 U}{\mu_1 V} \text{ என்பது தெளிவு.}$$

$\frac{U}{V}$ க்கான மதிப்பை சமன்பாடு (7) லிருந்து பதிலீடு செய்ய

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \cdot \frac{\text{டேன் } \alpha_2}{\text{டேன் } \alpha_1}$$

அல்லது

$$\mu_1\, l_1 \text{ டேன் } \alpha_1 = \mu_2\, l_2 \text{ டேன் } \alpha_2 \qquad (8)$$

ஆகும். இங்கு

$\frac{l_2}{l_1}$ நீளப் பெருக்கத்தையும்,

$\frac{\text{டேன் } \alpha_2}{\text{டேன் } \alpha_1}$ கோணப்பெருக்கத்தையும் கொடுக்கின்றன.

எனவே,

நீளம்பெருக்கம் $\times$ கோணப் பெருக்கம்

$$= \frac{l_2}{l_1} \times \frac{\mu_1\, l_1}{\mu_2\, l_2}$$

$$= \frac{\mu_1}{\mu_2} \text{ ஆகும்.}$$

4.9. அபேயின் சைன் நிபந்தனை

படம் 4.6.-ல் APX ஒளிவிலகல் பரப்பு ஆகும். $\angle OAD = i_1$ படுகோணமாகவும், $\angle LAC = i_2$ விலகு கோணமாகவும் அமைகின்றன.

$$\triangle \; OAC\text{-யில்}, \frac{\text{சைன்} \angle OAC}{\text{சைன்} \angle AOC} = \frac{\text{சைன்} (180 - i_1)}{\text{சைன்} \propto_1}$$

$$= \frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன்} \propto_1} = \frac{OC}{AC} \qquad (1)$$

$$\triangle \; ACI\text{-யில்}, \frac{\text{சைன் } i_2}{\text{சைன்} \propto_2} = \frac{IC}{AC} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } i_2} = \frac{OC}{AC} \times \frac{AC}{IC} \times \frac{\text{சைன்} \propto_1}{\text{சைன்} \propto_2}$$

$$= \frac{OC}{IC} \cdot \frac{\text{சைன்} \propto_1}{\text{சைன்} \propto_2} \qquad (3)$$

ஆனால் ஒளிவிலகல் விதிகளின்படி,

μ_1 சைன் $i_1 = \mu_2$ சைன் i_2 ஆகும்.

அல்லது

$$\frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } i_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \qquad (4)$$

சமன்பாடு (3)-ல் $\frac{\text{சைன் } i_1}{\text{சைன் } i_2}$ -க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{OC}{IC} \cdot \frac{\text{சைன்} \propto_1}{\text{சைன்} \propto_2}$$

முக்கோணங்கள் OBC, IMC இவைகளிலிருந்து,

$\frac{l_1}{l_2} = \frac{OC}{CI}$ என்பது தெளிவு.

எனவே

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{\text{சைன்} \propto_1}{\text{சைன்} \propto_2}$$

அல்லது

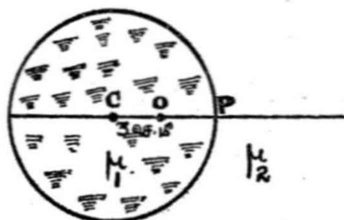
$$\mu_1 \, l_1 \text{ சைன்} \propto_1 = \mu_2 \, l_2 \text{ சைன்} \propto_2 \qquad (5)$$

சமன்பாடு (5) அபேயின் சைன் நிபந்தனையைக் கொடுக்கின்றது. இச் சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{\text{சைன் } \alpha_2}{\text{சைன் } \alpha_1}$-ன் மதிப்பு மாறிலியாக இருக்குமேயானல், நீளப் பெருக்கம் $\frac{l_2}{l_1}$-ன் மதிப்பு ஒரு மாறிலியாக அமையும். எனவே இந் நிபந்தனை சரி செய்யப்படும் வகையில், ஒரு கோளப் பரப்பின் அச்சின்மீது அமைந்துள்ள பொருளிலிருந்து செல்லும் கதிர்கள் விலகல் அடைந்தால், அவைகளினல் உண்டாக்கப்படும் படிவத்தின் எல்லாப் பாகங்களும் சம அளவு உருப் பெருக்கத்தைக் கொண்டிருக்கும்.

கோளப் பிறழ்ச்சி (Spherical aberration), கோமா (Coma) என்னும் இரு குறைபாடுகளையும் நீக்க அபேயின் சைன் நிபந்தனை நிறைவேற்றப்பட வேண்டுமென்பதை 'படிவங்களின் குறைபாடுகள்' என்னும் அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 10 செ. மீ. ஆரம் கொண்ட கண்ணுடிக் கோளமொன்றினுள் அதன் மையத்திலிருந்து 3 செ. மீ. தூரத்தில் சிறு காற்றுக் குமிழ் உள்ளது. அக் குமிழைக் கோளத்தின் விட்டத்தின் மூலமாக அது அமைந்துள்ள பக்கத்திலேயே இருந்து பார்த்தால் அதன் மேற் பரப்பிலிருந்து எவ்வளவு தூரத்தில் இருப்பதுபோலத் தோன்றும்? [கண்ணுடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 1.5 எனக் கொள்க.]



படம் 4.7.

படம் 4.7-ல் O என்பதுதான் காற்றுக் குமிழின் நிலை. C கோளத்தின் மையம். P என்பது பரப்பின்மீதுள்ள கண்ணுக்கு அருகில் அமையும் புள்ளி.

இங்கு $\frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்த வேண்டும். மேலும் பொருள் அமையும் ஊடகத்தை μ_1 என்றும், படிவம் அமையும் ஊடகத்தை μ_2 என்றும் கொள்ள வேண்டும். ஒளிவிலகல் எண்களுக்கான வேறுபாட்டை எண் அளவில் அப்படியே எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். எனவே,

$$\mu_1 = 1{\cdot}5$$

$$\mu_2 = 1$$

$$\mu_2 \backsim \mu_1 = 0{\cdot}5$$

குறைந்த அடர்வுகொண்ட ஊடகத்தை நோக்கியுள்ள பரப்பு குவிப்பரப்பு ஆகும். எனவே அதன்திறன் நேர்க்குறியைக் கொண்டிருக்கும். எனவே, $R = 10$ செ. மீ. ஆகும்.

உண்மைப் பொருள் ஆகையால்,

$$u = 10 - 3 = 7 \text{ செ. மீ.}$$

$$\frac{1}{V} + \frac{1.5}{7} = \frac{0.5}{10}$$

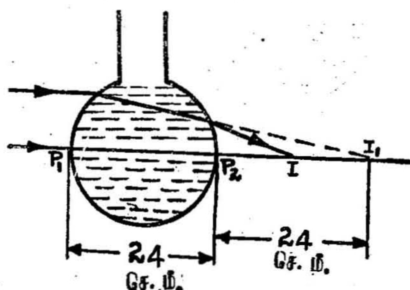
$$\frac{1}{V} = 0.05 - 0.214$$

$$= -0.164$$

$$\therefore \quad V = -6.1 \text{ செ. மீ.}$$

எனவே படிவம், P-க்குப் பின்னால் 6.1 செ. மீ. தள்ளி அமையும் மாயப் படிவமாகும்.

2. மெல்லிய சுவர் கொண்ட கண்ணாடியினாலானதொரு கோளகக் குடுவையில் நீர் உள்ளது. இவ்வமைப்பு ஒரு வில்லை



படம் 4.8.

போல் செயல்படுகின்றது. குடுவையின் வளைவு ஆரம் 12 செ. மீ. ஆகவும், நீரின் விலகல் எண் 4/3 ஆகவும் இருந்தால் அதன்மீது படும் இணைக் கதிர்கள் குவிக்கப்படும் நிலையைக் கணக்கிடுக.

படம் 4.8-ல் உள்ளபடி, இணைக் கதிர்கள் குடுவையின்மீது படுவதாகக் கொள்வோம். முதல் பரப்பு P_1 காற்றை நோக்கி அமைந்துள்ள குவிப்பரப்பு ஆகும். எனவே,

$\mu_2 = 4/3$; $\mu_1 = 1$; $R = 12$ செ. மீ., $U = \infty$, $V = ?$

$$\frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} = \frac{\mu_2 \sim \mu_1}{R}$$

$$\frac{4/3}{V} + \frac{1}{\infty} = \frac{1/3}{12}$$

$$\therefore \quad V = \frac{36 \times 4}{3}$$

$$= 48 \text{ செ. மீ.}$$

முதல் பரப்பின்மீதுள்ள P_1-லிருந்து 48 செ. மீ. தொலைவில் படிவம் I_1 உண்டாகின்றது. இப்படிவம் I_1 இரண்டாவது பரப்பு P_2-க்குப் பொருளாக அமைகின்றது எனவே இரண்டாவது பரப்பில் ஒளிவிலகலுக்கு,

$\mu_2 = 1$; $\mu_1 = 4/3$; $R = 12$

$U = (48 - 24)$ செ. மீ.

$\quad = 24$ செ. மீ.

$V = ?$

$$\therefore \quad \frac{1}{V} + \frac{4/3}{(-24)} = \frac{1}{3 \times 12}$$

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{36} + \frac{1}{18}$$

$$= \frac{3}{36} = \frac{1}{12}$$

$$V = 12 \text{ செ. மீ.}$$

அதாவது இணைக்கதிர்கள் P_2-விலிருந்து 12 செ. மீ. தொலைவில் இறுதியாகக் குவிக்கப்படும்.

வினாக்கள்

(1) குவிப் பரப்பொன்றில் ஏற்படும் ஒளிவிலகலைக் கருதி, $\frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

(2) குழிப் பரப்பொன்றில் ஒளிவிலகல் ஏற்படும்பொழுது, $\frac{\mu_2}{V} + \frac{\mu_1}{U} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ எனக் காட்டுக.

(3) குவிப் பரப்பொன்றில் மாயப் படிவம் ஏற்படும்பொழுது, நடைபெறும் ஒளிவிலகலைப்பற்றி ஆராயவும். அதிலிருந்து காற்று ஊடகமாக இருந்தால்,

$$\frac{\mu}{V} + \frac{1}{U} = \frac{\mu - 1}{R}$$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

(4) முதல் முக்கியக் குவியம், இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் ஆகியவற்றை விளக்கவும். வழக்கமான குறியீடுகளின்படி $f_1 V + f_2 U = UV$ எனக் காட்டுக.

(5) கோளப் பரப்பொன்றில் ஒளிவிலகல் நடைபெறும் பொழுது, ஏற்படும் கோணப்பெருக்கம், நீளப்பெருக்கம் ஆகியவை களைக் கணக்கிடுக.

(6) 8 செ. மீ. ஆரம் கொண்ட கோளமொன்று ஒளிவிலகல் எண் 1.5 கொண்ட பொருளால் ஆனது. அதனுள் அதன் மையத்திலிருந்து 2 செ. மீ. தொலைவில் குமிழ் ஒன்று அமைந் திருந்தால் பார்வையாளருக்கும் வளைவு மையத்திற்குமிடையில் பொருள் அமையும் தோற்றத் தொலைவினைக் கணக்கிடுக.

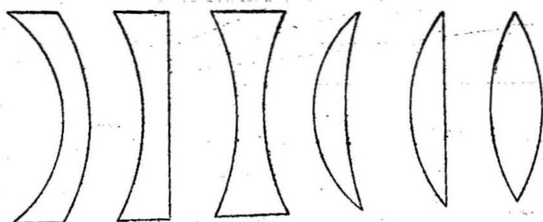
[$-5\frac{1}{3}$ செ. மீ.]

(7) 10 செ. மீ. விட்டமுள்ள கண்ணாடிக் கோளத்தின் மேற் பரப்பில். புள்ளிப் பொருளொன்று அமைந்துள்ளது. அந்தக் கோளத்தின் எதிர் பக்கத்திலிருந்து கண்ணாடி வழியே பார்த்தால் அப்பொருளின் படிவம் எந்த இடத்தில் அமையும் கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 1.5 எனக் கொள்க. [$V = -20$ செ. மீ.]

5. வில்லைகளின் வழியே ஒளிவிலகல்

5.1. ஒரு மெல்லிய வில்லையின் வழியே ஒளிவிலகல் :

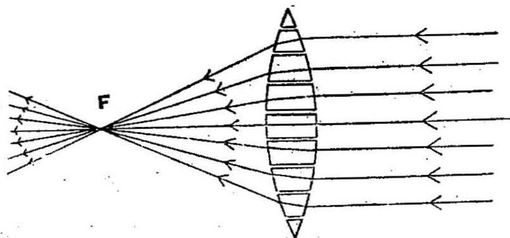
ஒரு மென்கோள வில்லை, இரண்டு கோளப் பரப்புகளையோ அல்லது ஒரு கோளப்பரப்பு, ஒரு சமதளப் பரப்பு ஆகியவற்றையோ கொண்டது. அவ்விரு பரப்புகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். இரண்டு கோளப் பரப்புகளின் வளைவு மையங்களின் வழியே செல்லும் நேர்க்கோடு, வில்லையின் முக்கிய அச்சு அல்லது ஒளி அச்சு எனப்படும். பலவகைப்பட்ட கோளக வில்லைகளின் முக்கிய அச்சுக்களின் வழியாகச் செல்லும் குத்துத் தளங்கள் படம் 5.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை அந்த வில்லைகளின் முதன்மை வெட்டு முகப்புகள் (Principal sections) எனப்படும்.



படம் 5.1. வில்லைகளின் வகைகள் – முதன்மை வெட்டு முகப்புகள்

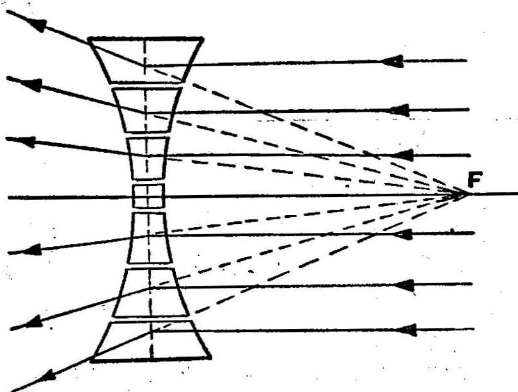
ஒரு குவி வில்லையைப் பல பட்டகங்களினால் ஆனதொரு ஒளி புகும் தொகுப்பு எனக் கருதலாம் (படம் 5.2). இப் பட்டகங்கள் அவற்றின் அடிப்பக்கங்கள் அச்சைநோக்கி இருக்குமாறும், மற்ற இரு பக்கங்கள் வில்லையின் இரு பக்கங்களாக எதிரெதிரே அமையுமாறும் ஒன்றின்மேல் ஒன்ருக அடுக்கப்பட்டுள்ளன எனக் கொள்ளலாம். இதனால் அச்சிலிருந்து விளிம்பை நோக்கிச் செல்லும்பொழுது விலகல் கோணங்கள் அதிகரிக்கின்றன. எனவே, படும்

கதிர்கள் விலகலுக்குப் பின்னர் அடிப்பாகத்தை நோக்கி, அதாவது அச்சைநோக்கி விலகுகின்றன. இணைக்கதிர்கள் படும்பொழுது அச்சைநோக்கி விலகி, எல்லாக் கதிர்களும் ஒரு புள்ளியில் குவி கின்றன. இவ்வாறு அவை குவியும் புள்ளி 'F' முக்கியக் குவியம் எனப்படும். கதிர்களைக் குவிப்பதினால் இஃது குவி வில்லை (Converging lens) எனப்படுகின்றது.



படம் 5.2. குவி வில்லை

குழி வில்லையையும் பல பட்டகங்களினால் ஆனதொரு தொகுப்பு எனக் கருதலாம். ஆனால் பட்டகங்கள், அவற்றின் அடிப்பக்கங்கள் விளிம்பை நோக்கியும், விலகல் விளிம்பு அச்சை நோக்கியும் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன (படம் 5.3.).



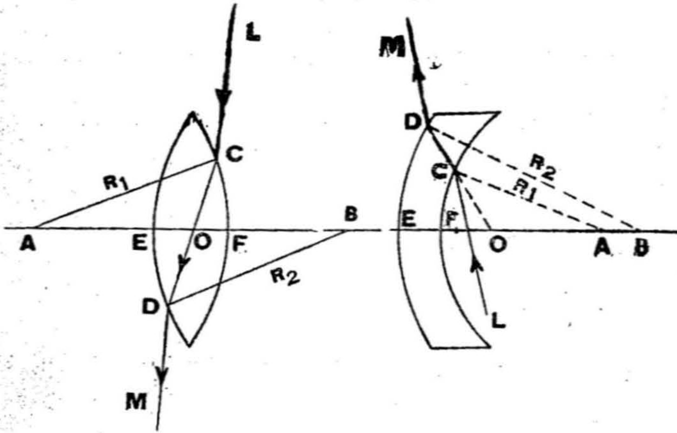
படம் 5.3 குழி வில்லை

பட்டகத்தில் விலகல் அடையும் கதிர்கள் அடிப்பாகத்தை நோக்கியே வளையுமாதலால், குழிவில்லையில் விலகல் அடையும் கதிர்கள் அச்சிற்கு அப்பால் விலகிச் செல்கின்றன. இதனால் அச்சிற்கு இணையாக விழும் கதிர்கள், விலகலுக்குப் பின்னர் விரிந்து செல் கின்றன. எனவே விலகல் அடைந்த கதிர்கள், கதிர்கள் படும்

திசையிலேயே வில்லையின் அச்சின்மீதுள்ள புள்ளி F-லிருந்து விரிந்து செல்வனபோன்று தோன்றுகின்றன. F-தான் குழி வில்லையின் முக்கியக்குவியம் ஆகும்.

5.2. ஒளி மையம் :

வில்லையொன்றில் ஒளிவிலகல் ஏற்படும்பொழுது, குறிப்பிட்டதொரு புள்ளியின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்கள் விலகல் அடைவதில்லை. மேலும் படுகதிருக்கு இணையான திசையில் வெளியேறும் விடுகதிர்கள் எல்லாம் அச்சின்மீது அமையும் புள்ளியொன்றின் வழியாகச் செல்கின்றன. இப் புள்ளி ஒளி மையம் (Optic centre) எனப்படும்.



படம் 5.4.

படம் 5.4-ல் அச்சின்மீதுள்ள A, B என்னும் புள்ளிகள் வில்லையினுடைய இரு பரப்புகளின் வளைவு மையங்கள் எனக் கொள்வோம். AC, BD என்னும் இணைக்கோடுகளை வரையவும். இக் கோடுகள் பரப்புகளுக்கு முறையே C, D என்னும் புள்ளிகளில் குத்துக்கோடுகளாக அமையும். எனவே இப் புள்ளிகளில் அமையும் சிறு பரப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையானவை. LC என்பது படுகதிர் எனில், அது விலகலுக்குப் பின்னர், அதற்கு இணையான DM திசையில் விடுகதிராக வெளிப்படுகின்றது. DM பக்கப் பெயர்ச்சி அடைந்தபோதிலும் மெல்லிய வில்லையில் அப் பெயர்ச்சியின் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருக்கும். முக்கோணங்கள் ACO, BDO இவற்றில் AC-யும், BD-யும் இணையானவை. எனவே அவை ஒத்த முக்கோணங்கள்.

ஆகவே $\frac{AC}{BD} = \frac{AO}{BO}$

ஆனல், $AC = AF$
$BD = BE$

$\therefore \quad \frac{AF}{BE} = \frac{AO}{BO}$

அல்லது $\frac{AF}{BE} = \frac{AF - AO}{BE - BO}$

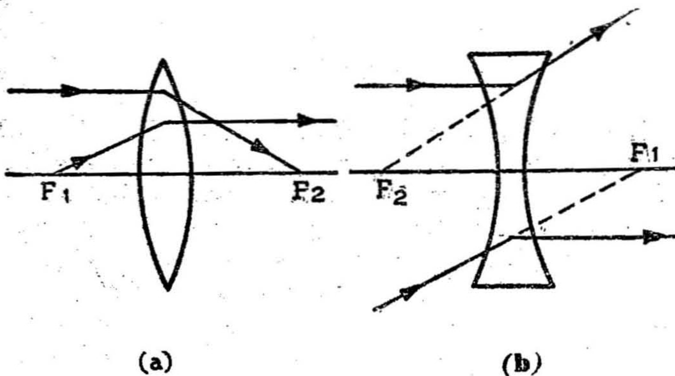
$$\frac{AF}{BE} = \frac{OF}{OE}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{OF}{OE}$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து O என்னும் புள்ளி வளைபரப்புகளின் வளைவுமையங்களை இணைக்கும் கோட்டை, அவற்றின் வளைவு ஆரங்களுக்கிடையேயான விகிதத்தில் பிரிக்கின்றது என்பது தெளிவு. வளைபரப்பொன்றிலிருந்து, புள்ளி O-அமையும் தொலைவு அதன் வளைவு ஆரத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இரண்டு பரப்புகளும் சமமான வளைவு ஆரங்களைக் கொண்டிருக்குமானல், புள்ளி O-வானது EF-ன் மையத்தில் அமையும்.

5.3. முக்கியக் குவியம் ; குவியதூரம்

தொலைவிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து வரும் கதிர்கள்,



படம் 5.5.

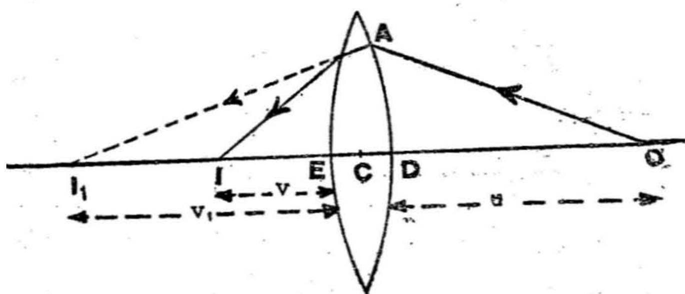
குவிவில்லையொன்றின்மீது அதன் அச்சிற்கு இணையாகவும், மிக அருகிலும் விழுந்தால் விலகலுக்குப் பின்னர் அவை முக்கிய

அச்சின்மீது ஒரு புள்ளியியல் குவியும். ஆனால் குழிவில்லையில் அதன்மீது படும் ஒளிக்கதிர்கள் விழும் திசையிலேயே ஒரு நிலையான புள்ளி F_2-விலிருந்து விலகிச் செல்வன போன்று தோன்றும் [படம் 5.5. (b)]. இவ்வாறு அமையும் இப்புள்ளிகள் முக்கியக் குவியம் எனப்படும். குவியமானது குவி வில்லைக்கு உண்மையானதொரு புள்ளியாகவும், குழி வில்லைக்கு மாயப்புள்ளி யாகவும் அமையும். வில்லையொன்றுக்கு இரண்டு முக்கியக் குவியங்கள் உண்டு. குவிவில்லையில் இணைக் கதிர்கள் ஒரு புள்ளி F_2-வில் குவிகின்றன. பதிலாக F_1-ல் பொருள் ஒன்றை வைத்தால், விலகலுக்குப் பின்னர் ஒளிக் கதிர்கள் இணையாக வெளியேறு கின்றன. F_1-ன் படிவம் அனந்தத்தில் உண்டாகும். எனவே புள்ளிகள் F_1, F_2 இரண்டும் முறையே முதல் முக்கியக் குவியம் என்றும் இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் என்றும் சொல்லப் படுகின்றன.

இரண்டாவது முக்கியக் குவியத்திற்கும் ஒளிமையத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் குவியத்தூரம் எனப்படும். மென்வில்லையின் இரண்டு முக்கியக் குவியங்களும் ஒளி மையத்திலிருந்து சம தூரத்திலும், எதிரெதிர் பக்கங்களிலும் அமைகின்றன.

5.4 வில்லையின் வழியே ஒளிவிலகல்

குவி வில்லையொன்றின் அச்சின்மீது ஒளிமிக்க புள்ளிப் பொருள் O அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். வில்லையின் முதற்



படம் 5.6. வில்லையின் வழியே ஒளிவிலகல்

பரப்பு D-யில் அடையும் ஒளிவிலகலினால், படிவம் I_1 உண்டாவதா கக் கொள்வோம். இப்படிவம் I_1 இரண்டாவது பரப்பு E-க்கு மாயப் பொருளாக அமைகின்றது. இறுதியாக படிவம் I-ல் உண்டா கின்றது. வில்லையின் பருப் பொருளின் (Material of the lens)

ஒளிவிலகல் எண் μ-எனவும், பரப்புகள் D, E ஆகியவைகளின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே R_1, R_2 எனவும் கொள்வோம். படம் 5.6-ல் $OD = u$ என்றும், $EI_1 = v_1$ என்றும் கொண்டால், பரப்பு D-யில் ஒளிவிலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{\mu - 1}{R_1} = \frac{\mu}{v_1} + \frac{1}{u} \qquad (1)$$

ஆகும்.

இரண்டாவது பரப்பான E-யில் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் இறுதிப் படிவம் உண்டாகின்றது. ஆனால், இரண்டாவது பரப்பில் ஒளிவிலகல் அடையும்போது கண்ணாடியிலிருந்து காற்றுக்கு ஒளிக்கதிர்கள் செல்கின்றன. எனவே ஒளிவிலகல் எண் $\frac{1}{\mu}$ ஆகும். எனவே, ஒளிவிலகல் சமன்பாடு

$$\frac{\frac{1}{\mu} - 1}{R_2} = \frac{\frac{1}{\mu}}{v} + \frac{1}{v_1} \qquad (2)$$

ஆகும்.

மேலும் பொருள் மாயப் பொருளாதலால் v_1 எதிர்க் குறியுடன் இருக்கும். எனவே ஒளிவிலகல் சமன்பாடு.

$$\frac{\frac{1}{\mu} - 1}{R_2} = \frac{1/\mu}{v} - \frac{1}{v_1} \text{ ஆகும்.}$$

$$\frac{1 - \mu}{\mu \, . R_2} = \frac{1}{\mu v} - \frac{1}{v_1}$$

அதாவது,

$$\frac{-(\mu - 1)}{R_2} = \frac{1}{v} - \frac{\mu}{v_1} \qquad (3)$$

ஆனால் சமன்பாடு (1)-ஐ, $\frac{\mu}{v_1} = \frac{\mu - 1}{R_1} - \frac{1}{u}$

என எழுதலாம்.

இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{-(\mu - 1)}{R_2} = \frac{1}{v} - \frac{\mu - 1}{R_1} + \frac{1}{u}$$

எனக் கிடைக்கும்.

அதாவது,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{(\mu - 1)}{R_1} - \frac{(\mu - 1)}{R_2}$$

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

என்ற பொதுவான சமன்பாடு கிடைக்கும்.

இருபுறக் குவி வில்லை

இருபுறக் குவிவில்லையில் R_1 நேர்க்குறியுடனும் R_2 எதிர்க் குறியுடனும் அமையும். பொருள் வெகு தொலைவில் அமையும் பொழுது படிவம் குவியத்தில் உண்டாகுமாதலால் $u = \infty$, $v = f$ என்னும் மதிப்புகள் கிடைக்கும். எனவே பொதுச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \text{ என ஆகும்.}$$

குவிய தூரம் f நேர்க்குறியுடன் இருக்கும். இச் சமன்பாடு, மென் வில்லைச் சமன்பாடு அல்லது வில்லை அமைப்போர் சமன்பாடு (Lens maker's formula) எனப்படும். மேலும்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \text{ ஆகும்.}$$

இருபுறக் குழிவில்லை

குழிவில்லையில் R_1 எதிர்க்குறியுடனும், R_2 நேர்க்குறியுடனும் இருக்கும். எனவே,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{-R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= -(\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

எனவே இருபுறக் குழி வில்லையின் குவிய தூரம் எதிர்க்குறி கொண்டது. எனவே இரு வகையான வில்லைகளுக்கும் பொது வானச் சமன்பாடு ஒன்றேயாகும்.

அதாவது, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ ஆகும்.

5.5. வில்லையின் திறன் :

வில்லையின் குவிய தூரத்தின் தலைகீழ் விகித மதிப்பே வில்லையின் திறன் எனப்படுகின்றது. இந்த மதிப்பு குவி வில்லைக்கு நேர்க்குறியுடனும், குழிவில்லைக்கு எதிர்க் குறியுடனும் இருக்கும்.

திறனுக்கான அலகு டைஆப்டர் (Dioptre) ஆகும். வில்லையின் திறன் $\frac{1}{f}$-ஐ டைஆப்டரில், $\frac{100}{f}$ டைஆப்டர், என்று குறிப்பது வழக்கம். இங்கு குவிய தூரத்தைச் செ. மீ. களில் குறிப்பிட வேண்டும். எனவே 300 செ. மீ. குவிய தூரமுள்ள குவி வில்லையெனில், வில்லையின் திறன், $\frac{100}{300} = 0.33$ டைஆப்டர் ஆகும். 50 செ. மீ. குவிய தூரமுள்ள குழிவில்லையெனில், வில்லையின் திறன் $= \frac{100}{-50} = -2$ டைஆப்டர் என்றும் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

5.6. வில்லைகளில் படிவங்கள் உண்டாதல் :

மென்வில்லைகளில் படிவங்கள் அமையும் இடங்களைக் கீழ்க் கொடுக்கப்பட்டுள்ள கதிர்களில் இரண்டினைக்கொண்டு காணலாம்.

1) ஒளிமையத்தின் வழியாக விலகல் அடையாமல் செல்லும் கதிர்.

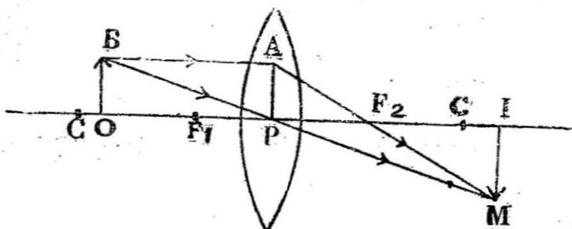
2) குவி வில்லையில் முக்கிய அச்சிற்கு இணையாகப் பட்டு ஒளி விலகலுக்குப் பின்னர், இர்ண்டாவது முக்கியக் குவியத்தின் வழியாகச் செல்லும் கதிர் ; அல்லது குழிவில்லையில், விலகலுக்குப் பின்னர் அப் புள்ளியிலிருந்து விரிந்து செல்வதுபோலத் தோன்றும் கதிர்.

3) முதல் முக்கியக் குவியத்தின் வழியாகவோ அல்லது அதை நோக்கியோ அனுப்பப்பட்டு, விலகலுக்குப் பின்னர் முக்கிய அச்சிற்கு இணையாக வெளியேறும் கதிர்.

5.7. குவிவில்லையில் படிவங்கள் உண்டாதல் :

நீண்ட பொருள் OB குவி வில்லையின் அச்சிற்குக் குத்தாக F-க்கு அப்பால் உள்ளதெனக் கொள்வோம். முக்கிய அச்சிற்கு இணையாக வில்லையின்மீது படும் BA என்னும் கதிர், ஒளிமையம்

P-யின் வழியாகச் செல்லும் கதிர் BP ஆகியவற்றைக் கருதுவோம். இந்த இரண்டு கதிர்களும் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் M என்னும்



படம் 5.7.

புள்ளியில் சந்திக்கின்றன. அச்சிற்குச் செங்குத்தாக M-ன் வழியாக IM-ஐ வரைந்தால், IM தான் OB-யின் படிவமாகும்.

படம் 5.7-ல் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்களாகும்.

எனவே, $$\frac{OB}{IM} = \frac{OP}{IP} \qquad (1)$$

முக்கோணங்கள் APF_2, IMF_2 இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்களாகும். எனவே,

$$\frac{AP}{IM} = \frac{PF_2}{IF_2}$$

அல்லது,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{PF_2}{IF_2} \qquad (2)$$

அதாவது, $AP = OB$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{PF_2}{IF_2} = \frac{OP}{IP}.$$

வழக்கமான குறியீடுகளின்படி,

$OP = u$, $IP = v$, $PF_2 = f$ எனில்,

$$\frac{f}{v-f} = \frac{u}{v}$$

$$vf = uv - uf$$

அதாவது,

$$vf + uf = uv$$

இந்தக் கோவையை, $u\,v\,f$ ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$ எனக் கிடைக்கும்.

நாம் மேற்கொள்ளும் குறியீட்டு முறைப்படி இங்கு, u, v, f ஆகிய மூன்றும் நேர்க்குறியைக் கொண்டவை.

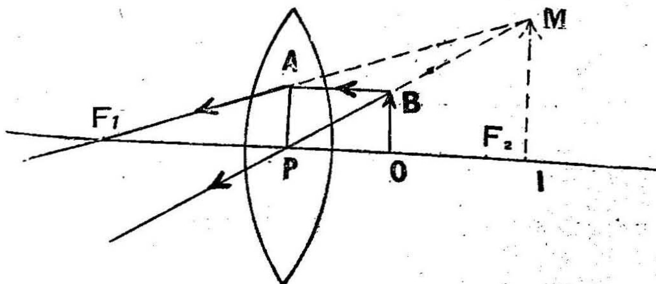
எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$ ஆகும்.

குவி வில்லை உண்மைப்படிவம் உண்டாக்குதலைப் பல இடங்களில் கருத உள்ளோம். இச் சமன்பாடு வில்லையின் குவிய தூரத்திற்கும், வில்லையிலிருந்து பொருளும் படிவமும் அமையும் தூரங்களுக்கும் இடைப்பட்ட தொடர்பைக் குறிக்கின்றது.

5.8. குவிவில்லையில் மாயப்படிவம் உண்டாதல்

OB என்னும் பொருள் F_2-க்கும் P-க்குமிடையே வைக்கப் பட்டுதாகக் கொள்வோம். பொருளின் B என்னும் புள்ளியின் படிவத்தைக் காண முன்போலவே முக்கிய அச்சுக்கு இணையாக



படம் 5.8

ஒரு கதிரையும் ஒளிமையம் P-ன்வழியாகச் செல்லும் மற்றொரு கதிரையும் கருத, ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் அவை எதிர்ப்புறத்தில் ஒன்றையொன்று சந்திக்காமல் போவதைக் காணலாம். எனவே, விலகல் கதிர்களைப் பின்பக்கம் நீட்ட அவை M-என்னும் புள்ளியில் சந்திக்கும். அப் புள்ளிதான் B-யின் படிவமாகும். அச்சிற்குக்

குத்தாக வரையப்படும் IM, பொருள் OB-யின் படிவமாகும். முக்கோணங்கள் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்,

$$\therefore \quad \frac{OB}{IM} = \frac{OP}{IP} \qquad (1)$$

மேலும் முக்கோணங்கள் IMF_1, PAF_1 ஒத்தவை.

எனவே $\frac{AP}{IM} = \frac{PF_1}{IF_1}$

அல்லது $\frac{OB}{IM} = \frac{PF_1}{IF_1} \qquad (2)$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{OP}{IP} = \frac{PF_1}{IF_1} \qquad (3)$$

வழக்கப்படி,

$PO = u$; $IP = v$; $PF_1 = f$ எனக் கொண்டு,

சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$\frac{u}{v} = \frac{f}{f+v}$ ஆகும்.

$$uf + uv = vf \qquad (4)$$

$u\,v\,f$-ஆல் இந்தக் குறிக்கோவையை வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{f} = \frac{1}{u}$$

அல்லது $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} - \frac{1}{v}$ ஆகும்.

இச் சமன்பாட்டில் f, u, இரண்டும் நேர்க் குறியைக் கொண்டவை; v-மட்டும் எதிர்க் குறியைக் கொண்டது.

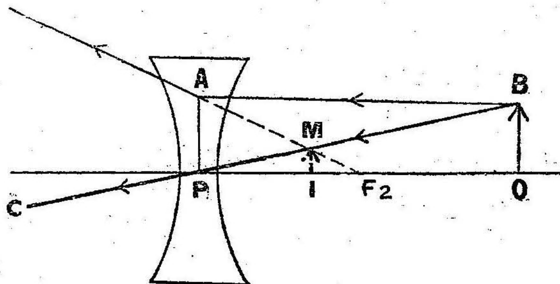
எனவே, $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} - \left(\frac{1}{-v}\right)$

$$= \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

எனவே $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்ற பொதுச் சமன்பாடு கிடைக்கின்றது.

5.9. குழிவில்லையில் படிவம் உண்டாதல் :

நீண்ட பொருள் குழிவில்லைக்கு முன்னர் அச்சின்மேல் எங்கிருந்தாலும், அது ஒரு மாயப் படிவத்தையே உண்டாக்குகின்றது. OB என்பது குழிவில்லையின் அச்சின்மீது வைக்கப்பட்டுள்ள பொருள் எனக் கொள்வோம். படிவம் உண்டாகும் இடத்தைக் காண அச்சிற்கு இணையாக BA என்னும் கதிரையும், ஒளிமையம்



படம் 5.9.

P-யின் வழியாகச் செல்லும் BC என்னும் கதிரையும் கருதுவோம். வில்லையில் விலகலுக்குப் பின்னர் விரிந்து செல்லும் கதிரும், P-யின் வழியாக, விலகல் இல்லாமல் செல்லும் BC என்னும் கதிரும் எதிர்ப்புறத்தில் சந்திப்பதில்லை. எனவே விலகல் அடைந்த கதிர்களைப் பின்பக்கம் நீட்ட அவையிரண்டும் M-ல் சந்திக்கும். M-ன் வழியாக அச்சுக்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு IM பொருள் OB-ன் படிவமாகும். பொருள் இருக்கும் திசையிலேயே படிவம் உண்டாகியிருப்பதால் அது மாயப் படிவமாகும்.

படத்தில் முக்கோணங்கள் OBP, IMP இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{OB}{IM} = \frac{OP}{IP} \qquad (1)$$

மேலும் முக்கோணங்கள்,

APF_2, IMF_2 இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்

எனவே, $\dfrac{AP}{IM} = \dfrac{PF_2}{IF_2}$

ஆனால், $AP = OB$

எனவே. $$\frac{OB}{IM} = \frac{PF_2}{IF_2} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{OP}{IP} = \frac{PF_2}{IF_2} \qquad (3)$$

வழக்கமான குறியீடுகளின்படி,

$PO = u$; $PI = v$; $PF_2 = f$ என்னும்

மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (3)-இல் இட,

$$\frac{u}{v} = \frac{f}{f-v}$$

அதாவது, $uf - uv = vf$

$$uf - vf = uv$$

இக் கோவையை uvf-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

u- நேர்க்குறியையும், v, f இரண்டும் எதிர்க் குறியையும் கொண்டவை.

எனவே, $$-\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$$

அல்லது,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

என்னும் பொதுவான சமன்பாடு எல்லா வில்லைகளுக்கும் பொருந்தும் என்பது தெளிவு.

5.10. உருப்பெருக்கம் :

படிவத்தின் உருவ நீளத்திற்கும், பொருளின் உருவ நீளத்திற்கும் இடைப்பட்ட விகிதம் உருப்பெருக்கம் எனப்படும். முன் பகுதிகளில் கருதியபடி OB என்பதைப் பொருளின் நீளமாகவும்,

IM என்பதைப் படிவத்தின் நீளமாகவும் கொள்ளலாம். எனவே உருப்பெருக்கத்தை m எனக் குறித்தால்,

$$m = \frac{\text{படிவத்தின் நீளம்}}{\text{பொருளின் நீளம}}$$

$$= \frac{IM}{OB}$$

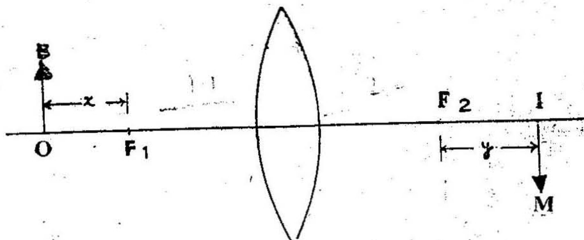
$$= \frac{PI}{PO}$$

அதாவது $$m = \frac{v}{u}$$

உருப்பெருக்கமானது, வில்லைக்கும் படிவத்திற்குமிடையேயான தூரம், வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் இவற்றின் விகிதமாக அமைகின்றது.

5.11. நியூட்டனின் சமன்பாடு (Newton's formula)

பொருள் இருக்கும் தூரத்தையும், படிவம் இருக்கும் தூரத்தையும், வில்லையின் மையத்திலிருந்து அளப்பதற்குப் பதிலாக, வில்லையின் முதன்மைக் குவியங்களிலிருந்து அளக்கவேண்டும். முதல்



படம் 5.10. நியூட்டனின் சமன்பாடு

முதன்மைக் குவியம் (First principal focus) F_1-லிருந்து பொருள் x-தூரத்திலும் இரண்டாவது முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து படிவம் 'y' தூரத்திலும் இருப்பதாகக் கொள்வோம் (படம் 5.10).

படத்தில், $F_1 O = x = u - f$ (1)

$F_2 I = y = v - f$ (2)

எனவே, $xy = (u-f)(v-f)$

$= uv - uf - vf + f^2$

$= uv - f(u+v) + f^2$ (3)

ஆனால் $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$uv = f(u+v) \qquad (4)$$

சமன்பாடு (4)-லிருந்து uv-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$xy = f^2$ என்ற சமன்பாடு கிடைக்கும். இச் சமன்பாடு வில்லைகளுக்கான நியூட்டனின் சமன்பாடாகும்.

5.12. குவிவில்லை மெய்ப்படிவத்தை உண்டாக்கும்பொழுது, வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட சிறுமத் தொலைவு :

குவி வில்லை மெய்ப்படிவத்தை உண்டாக்கும்பொழுது படிவத்திற்கும், பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை x எனக் கொள்வோம். பொருளுக்கும், வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை u எனவும், படிவத்திற்கும் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை v எனவும் கொள்வோம். வில்லையின் குவிய தூரம் f-எனில் தூரங்களுக்கிடையேயான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$x = u + v$$

அல்லது

$$v = x - u \text{ ஆகும்.}$$

v-யின் இம் மதிப்பைச் சமன்பாட்டில் இட,

$$\frac{1}{x-u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{u + (x-u)}{(x-u)u} = \frac{1}{f}$$

அல்லது

$$uf + xf - uf = xu - u^2$$

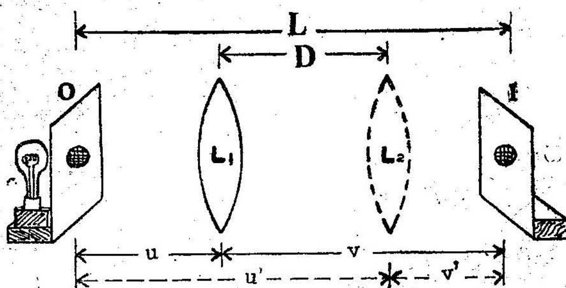
$$u^2 - ux + fx = 0$$

$$\text{எனவே} \quad u = \frac{x \pm \sqrt{x^2 - 4fx}}{2}$$

u ரண்டதாகையால், $x^2 > 4fx$. எனவே, $x > 4f$ ஆகும். அதாவது பொருளுக்கும், படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் வில்லையின் குவிய தூரத்தைப் போன்று குறைந்த அளவு நான்கு மடங்கு இருக்கவேண்டும்.

5.13. வில்லையின் பரிமாற்றுப் புள்ளிகள்

குவி வில்லையொன்று படம் 5.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பொருள் O-வுக்கும் திரை I-க்கும் இடையில் அமைக்கப் பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். L_1 என்னும் நிலையில் இருக்கும் பொழுது தொலைவில் அமைந்திருக்கும் திரையின் மீது தெளிவான படிவம் உண்டாக்குவதாகக் கொள்வோம். பொருளின் நிலையையும், திரையின் நிலையையும் மாற்றுமல் வில்லையை மட்டுமே நகர்த்தி மற்றுமொரு தெளிவான படிவத்தைத் திரையில் உண்டாக்கலாம். வில்லையின் இரண்டாவது நிலையை L_2 எனக் கொள்வோம். வில்லையின் இவ்விரு நிலைகளும் பரிமாற்று நிலைகள் (Conjugate positions) அல்லது பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் எனப்படும்.



படம் 5.11. வில்லையின் பரிமாற்று நிலைகள்

பொருளுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை L என்றும், வில்லையின் இரு நிலைகளுக்கிடையேயான தூரத்தை D என்றும் கொள்வோம். வில்லையினுடைய குவிய தூரத்தை f-எனக் கொள்வோம். வில்லை L_1-ல் இருக்கும்பொழுது u, v என்பவை முறையே வில்லைக்கும் பொருளுக்கும், வில்லைக்கும் படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரங்கள் எனக் கொள்வோம். எனவே,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{u+v}{uv} = \frac{1}{f} \qquad (1)$$

வில்லை L_2-ல் இருக்கும்பொழுது u', v' என்பன முறையே வில்லைக்கும் பொருளுக்கும், வில்லைக்கும் படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரங்கள் எனில்,

$$\frac{1}{u'} + \frac{1}{v'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{u' + v'}{u' v'} = \frac{1}{f} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இரண்டிலிருந்தும்,

$$\frac{u + v}{uv} = \frac{u' + v'}{u' v'} = \frac{1}{f} \qquad (3)$$

படம் 5.11-லிருந்து,

$$u+v = L = u'+v'$$

எனவே, $$uv = u' v' \qquad (4)$$

மேலும், $$u' - u = D \qquad (5)$$

$$v - v' = D \qquad (6)$$

ஆனால் சமன்பாடு (4)-லிருந்து,

$$u' = \frac{uv}{v'}$$

சமன்பாடு (5)-ல் இந்த மதிப்பைப் பதிலீடு செய்து, சமன்பாடு (6)-உடன் சமனாக்க,

$$\frac{uv}{v'} - u = v - v'$$

$$u\left(\frac{v}{v'} - 1\right) = v - v'$$

$$u\,(v - v') = v'\,(v - v')$$

எனவே, $$u = v'$$

இதுபோலவே $v = u'$ என நிரூபிக்கலாம். எனவே இந்த இரு நிலைகளிலும் வில்லை அமையும்பொழுது ஒன்றின் பொருள் தொலைவு, மற்றொன்றின் படிவத் தொலைவாக அமைகின்றது. இந்த இரண்டு புள்ளிகளும் பரிமாற்றுப் புள்ளிகளாகும்.

மேலும் படம் 5.11-ல்,

$$L = u + v$$

வில்லையை இரண்டாம் நிலையில் வைக்கும்பொழுது, திரைக்கும் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் u ஆக இருக்கும்.

எனவே, $D = L - 2u$

$$= u + v - 2u$$

$$= v - u$$

எனவே, $L + D = u + v + v - u = 2v$

$$v = \frac{L + D}{2}$$

$$L - D = u + v - (v - u) = 2u$$

$$\therefore \quad u = \frac{L - D}{2}$$

இந்த u, v மதிப்புக்களை வில்லைகளுக்கான சமன்பாடான

$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ -இல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{L - D}{2}} + \frac{1}{\frac{L + D}{2}}$$

$$= \frac{2}{L - D} + \frac{2}{L + D}$$

$$= \frac{2(L + D) + 2(L - D)}{L^2 - D^2}$$

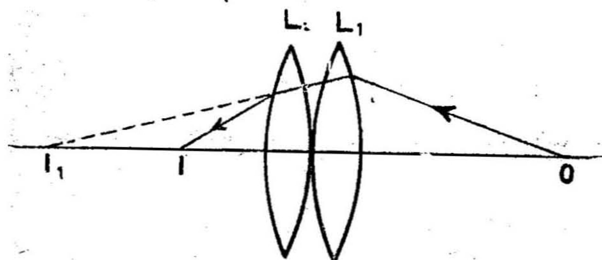
$$= \frac{4L}{L^2 - D^2}$$

$$\therefore \quad f = \frac{L^2 - D^2}{4L}$$

எனவே, பொருளுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் L, வில்லைகளின் இரு நிலைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் D, இவற்றைக் கொண்டு வில்லையின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடலாம்.

5.14 வில்லைகளின் தொகுப்பு—இணைந்த மென்வில்லைகள் :

L_1, L_2 என்னும் இரு மென்குவி வில்லைகள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன எனக் கொள்வோம். அவைகளின் பொது அச்சின்மேல், O-என்னும் பொருள் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். முதல் வில்லையில் விலகலுக்குப் பின்னர், O-வின் படிவம் I_1-ல் அமைகின்றது. I_1 இரண்டாவது வில்லை L_2-க்கு மாயப்பொருளாக அமைய விலகலுக்குப் பின்னர் இறுதி உண்மைப் படிவம் I-ல் உண்டாகின்றது.



படம் 5.12. இணைந்த மென்வில்லைகளின் தொகுப்பு

வில்லைகள், மென்வில்லைகள் ஆகையால் பொருளுக்கும் வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட பொதுத்தூரம் u எனவும், படிவம் I_1-க்கும் வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் v_1 எனவும், படிவம் I-க்கும் வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் v எனவும் கொள்வோம். எனவே முதல் வில்லையில் விலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{v_1} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1}$$

அதாவது

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u} \qquad (1)$$

I_1-ல் அமையும் படிவம் இரண்டாவது வில்லைக்குப் பொருளாக அமைவதினால், இரண்டாவது வில்லையில் விலகலுக்கானச் சமன்பாடு,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \qquad (2)$$

ஆகும்.

சமன்பாடு (1)-லிருந்து $\frac{1}{v_1}$-க்கான மதிப்பைச் சமன்பாடு (2)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{v} - \left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{u}\right) = \frac{1}{f_2}$$

$$i.e., \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

வில்லைகளின் தொகுப்பு, குவிய தூரம் F-கொண்ட தனி வில்லை ஒன்றினல் மாற்றப்பட்டால்,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$ எனவாகும். ஆகவே

இரு வில்லைகளின் தொகுப்பிற்கான குவிய தூரம் F ஆனது.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கின்றது. அதாவது ஏற்படும் உருப்பெருக்கம் சம தனி வில்லையின் உருப்பெருக்கத்திற்குச் சமமாக உள்ளது.

முதல் வில்லையின் உருப்பெருக்கம் $= \dfrac{v_1}{u}$

இரண்டாவது வில்லையின் உருப்பெருக்கம் $= \dfrac{v}{v^1}$

மொத்த உருப்பெருக்கம் $= \dfrac{v_1}{u} \times \dfrac{v}{v_1}$

$$= \frac{v}{u}$$

அதாவது மொத்த உருப்பெருக்கம் சமனை தனி வில்லையின் உருப்பெருக்கத்திற்குச் சமமாகும்.

மேலும் வில்லைகளின் திறன்களின் கூடுதல் $P_1 + P_2$ எனில், அது சமனை தனி வில்லையின் திறனுக்குச் சமமாக உள்ளது. வில்லையின் திறன் $P = \dfrac{1}{f}$

எனவே இங்கு $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{f_1} + \dfrac{1}{f_2}$

$$P = P_1 + P_2$$

எனவே இணைந்த இரு வில்லைகள் சேர்ந்து கொடுக்கும் படிவம் அமையும் இடத்திலேயே தனி வில்லையொன்றைக் கொண்டு அதே அளவுகொண்ட படிவத்தைப் பெறமுடியும். இந்த வில்லைக்கு இணைமாற்று வில்லை (Equivalent lens) என்று பெயர். இம்

முறையிலேயே இரண்டுக்கும் மேற்பட்ட எண்ணிக்கை கொண்ட வில்லைகளின் தொகுப்புக்கான குவிய தூரத்தைக் காண முடியும். வில்லையின் குவிய தூரங்கள் f_1, f_2, f_3.........எனில்,

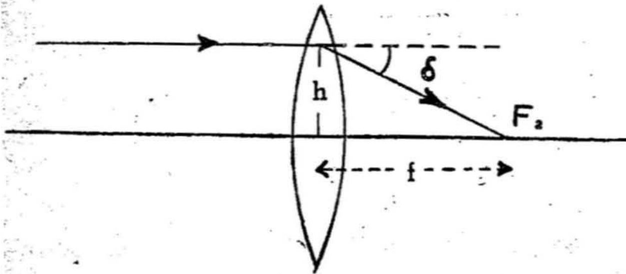
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$ என்ற

சமன்பாட்டிலிருந்து தொகுப்பின் குவிய தூரத்தைக் காணலாம்.

தொகுப்பின் மொத்தத்திறன் தனித்தனியான வில்லைகளின் திறன்களின் கூடுதலாகும்.

5.15. வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம்

வில்லையொன்றின்மீது அச்சிலிருந்து h உயரத்தில் அச்சிற்கு இணையாக ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிரொன்று (Monochromatic light



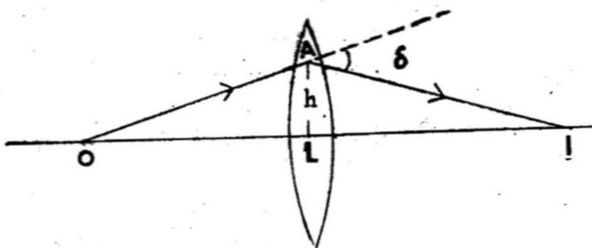
படம் 5.13. வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம்

ray) படுவதாகக் கொள்வோம். அச்சிணைக்கதிர் ஆகையால் விலகலுக்குப் பின்னர் அது இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் F_2-வின் வழியாகச் செல்லும். கதிர் அடைந்த திசைமாற்றம் 'δ' எனில் படம் 5.13-ல்

$$\text{டேன்}\ \delta = \frac{h}{f}.$$

படும் கதிர் அச்சு நெருக்கக் கதிர் எனில் δ-வின் மதிப்பு குறைவாக இருக்கும். எனவே டேன் $\delta = \delta$ எனக் கொள்ளலாம். எனவே,

$\delta = \dfrac{h}{f}$ ஆகும். ஒளிமிக்கப் பொருளான O-வின் படிவம் I-ல் உண்டாவதாகக் கொள்வோம். வில்லையின் மேல் A-யில் விழும் கதிர் OA அடையும் திசைமாற்றம் δ எனில், (படம் 5.14-ல்)



படம் 5.14.

$$\delta = \angle AOL + \angle AIL$$

$$= \frac{h}{u} + \frac{h}{v}$$

$$= h\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{v}\right)$$

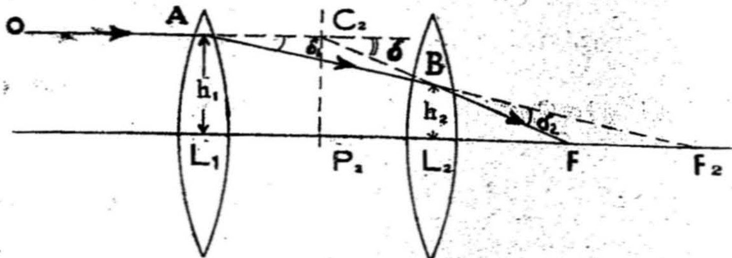
$$= h\left[\frac{1}{f}\right]$$

$$= \frac{h}{f}$$

இதனால் ஒரு வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம் பொருளின் நிலையைப் பொருத்தது அல்ல என்பது தெளிவாகின்றது.

5.16. இடைவெளிகொண்டு அமையும் இரு மென் வில்லைகளின் இணைமாற்றுக் குவியதூரம்

தனிவில்லை உண்டாக்கும் படிவங்களில் ஏற்படும் சில குற்றபாடுகளை நீக்குவதற்காக, ஒளியியல் கருவிகளில் இரண்டு



படம் 5.15. இடைவெளிவிட்டு அமைந்த வில்லைகளின் தொகுப்பு

அல்லது மேற்பட்ட வில்லைகளின் தொகுப்பு பயன்படுத்தப் படுகின்றது. இந்த வில்லைகளின் பரப்புகள் ஒன்றையொன்று இணைந்து இருக்கலாம்; அல்லது ஒன்றுக்கொன்று குறிப்பிட்ட இடைவெளிகொண்டிருக்கலாம். இப்படி அமைக்கப்பட்டுள்ள வில்லைகளுக்குக் கூட்டுவில்லை என்று பெயர். படம் 5.15-ல் உள்ளது போன்று மெல்லிய வில்லைகளான L_1, L_2 இரண்டும் அவற்றினிடையே 'd' அளவு இடைவெளி இருக்குமாறும் ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறும், அமைக்கப்பட்டுள்ளன எனக் கொள்வோம். அவைகளின் குவிய தூரங்கள் முறையே f_1, f_2 எனக் கொள்வோம். OA என்னும் கதிர் அச்சுக்கிணையாக முதல் வில்லையின் மீது A என்னுமிடத்தில், அச்சிலிருந்து h_1 உயரத்தில் படுவதாகக் கொள்வோம். இரண்டாவது வில்லை இல்லாவிடில் முதல் வில்லையில் விலகலுக்குப் பின்னர் அது முக்கியக் குவியம் F_2-ன் வழியாகச் சென்றிருக்கும். எனவே, முதல்வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம்

$$\delta_1 = \frac{h_1}{f_1} \qquad (1)$$

இரண்டாவது வில்லை L_2 இருப்பதனுல் L_1-ல் விலகல் அடைந்த கதிர் L_2-வின்மேல் அச்சிலிருந்து h_2 உயரத்தில் B-யில் படுகின்றது. L_2-வில் விலகலுக்குப் பின்னர் F-ன் வழியாகச் செல்கின்றது. எனவே, F-தான் வில்லைகள் L_1, L_2 தொகுப்பின் முக்கியக் குவியம் எனப்படும். இரண்டாவது வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம் δ_2 எனில்,

$$\delta_2 = \frac{h_2}{f_2}. \qquad (2)$$

படுகதிரையும், இறுதியாக வெளிப்படும் விடுகதிரையும் பின் பக்கமாக நீட்டினுல். அவைகள் C_2-வில் வெட்டிக் கொள்கின்றன. C_2-வின் வழியாக அச்சிற்குக் குத்துக்கோடு வரைந்தால், அது அச்சை P_2-வில் சந்திக்கின்றது. இரண்டு வில்லைகளும் உண்டாக்கியுள்ள திசைமாற்றத்திற்குச் சமமான திசைமாற்றத்தையும், குவிய தூரம் $P_2 F$-ம் கொண்ட மென் வில்லையொன்றை P_2-வில் வைக்க இயலும். அப்படி வைக்கப்படும் வில்லைதான் இணைமாற்று வில்லை (Equivalent lens) எனப்படும். இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தூரம் f எனில் அது உண்டாக்கும் திசைமாற்றம்,

$$\delta = \frac{h_1}{f} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \quad \delta = \delta_1 + \delta_2$$

$$\frac{h_1}{f} = \frac{h_1}{f_1} + \frac{h_2}{f_2} \qquad (3)$$

படம் 5.15-ல் முக்கோணங்கள், AL_1F_2, BL_2F_2 ஒத்தவை. எனவே,

$$\frac{AL_1}{L_1F_2} = \frac{BL_2}{L_2F_2}$$

$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{BL_2}{L_2F_2}$$

$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{h_2}{f_1 - d}$$

அதாவது, $$h_2 = \frac{h_1(f_1 - d)}{f_1} \qquad (4)$$

சமன்பாடு (3)-ல் இந்த மதிப்பைப் பதிலீடுசெய்ய,

$$\frac{h_1}{f} = \frac{h_1}{f_1} + \frac{h_1(f_1 - d)}{f_1 f_2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

$\triangle = f_1 + f_2 - d$ எனில்

$$f = \frac{f_1 f_2}{\triangle} \qquad (5)$$

ஆகும். மேலும் இந்த மதிப்பு $\triangle$, வில்லைகளுக்கு இடைப்பட்ட ஒளியியல் பிரிதூரம் அல்லது ஒளியியல் இடைவெளி (Interval) எனப்படும். சமன்பாடு (5) இணைமாற்று வில்லை (Equivalent lens) யின் இரண்டாவது முக்கியக் குவிய தூரத்தைக் கொடுக்கின்றது.

இணைமாற்று வில்லை அமைக்கப்பட வேண்டிய புள்ளி P_3-வுக்கும், இரண்டாவது வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் $P_2L_3 = \beta$ எனில் β-வை கீழ்க்கண்ட முறையில் காணலாம். படம் 5.15-ல் முக்கோணங்கள் C_2P_2F, BL_2F ஒத்த முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \quad \frac{P_2F}{L_2F} = \frac{C_2P_2}{BL_2} \qquad (6)$$

ஆனால்,

$$P_2F = f$$

$$L_2F = P_2F - P_2L_2$$

$$= f - \beta$$

மேலும்,

$$C_2 P_2 = h_1$$
$$BL_2 = h_2$$

எனவே சமன்பாடு (6)-ல் இந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடுசெய்ய,

$$\frac{f}{(f-\beta)} = \frac{h_1}{h_2}$$

ஆனால் சமன்பாடு (4)-ல் இருந்து,

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{f_1}{(f_1-d)}$$

எனவே,

$$\frac{f}{(f-\beta)} = \frac{f_1}{(f_1-d)}$$

$$ff_1 - fd = ff_1 - f_1\beta$$

$$\beta = \frac{fd}{f_1} \qquad (7)$$

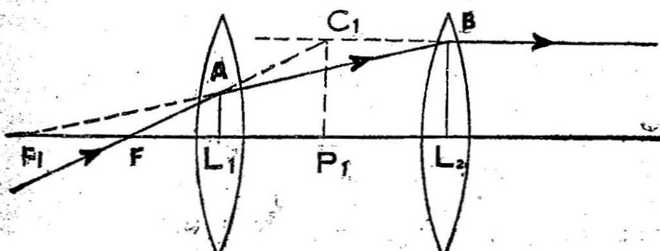
சமன்பாடு (5)-லிருந்து,

f-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\beta = \frac{f_1 f_2}{(f_1+f_2-d)} \cdot \frac{d}{f_1}$$

$$= \frac{f_2}{(f_1+f_2-d)} \cdot d \qquad (8)$$

அதாவது புள்ளி P_2-ஆனது இரண்டாவது வில்லைக்கு முன்னால் $\frac{f_2}{f_1+f_2-d} \cdot d$ தூரத்தில் அமையும்.



படம் 5.16-ல் இருப்பதுபோன்று, F என்னும் புள்ளி வில்லை தொகுப்பிற்கு இடது பக்கம் அவைகளின் பொது அச்சின்மேல் இருக்குமேயானால், F-லிருந்து FA போன்ற ஒளிக்கதிர் இரண்டு வில்லைகளிலும் ஒளிவிலகலடைந்த பின்னர், அச்சிற்கு இணையாக வெளியேறுகின்றது எனக் கொள்வோம். FA-யையும் அச்சிற்கு இணையாக விடுபடும் கதிரையும், நீட்ட அவை C_1-ல் சந்திக்கட்டும். C_1-ன் வழியாக வரையப்படும் குத்துக்கோடு அச்சை P_1-ல் வெட்டட்டும். P_1-தான் இணைமாற்று வில்லை இருக்கவேண்டிய மற்றொரு புள்ளியாகும். இப்பொழுது முதல் வில்லையிலிருந்து இணைமாற்று வில்லை வைக்கப்பட வேண்டிய தூரம், $L_1 P_1 = \propto$ எனில்,

$$\propto = -\frac{fd}{f_2} \text{ எனக் காட்டலாம்.}$$

இணைமாற்றுவில்லை வைக்கவேண்டிய இரண்டு நிலைகளான P_1, P_2 இரண்டும் முறையே முதல் முதன்மைப் புள்ளி இரண்டாவது முதன்மைப் புள்ளி என்றும், அவைகளின் வழியே அச்சிற்குக் குத்தாக அமையும் தளங்கள் C_1P_1, C_2P_2 முறையே முதல் முதன்மைத் தளம், இரண்டாவது முதன்மைத் தளம் என்றும் சொல்லப்படும். வில்லைகளின் இருபுறங்களிலும் ஊடகமொன்றேயானால், முதல், இரண்டாவது குவிய தூரங்கள் சமமாக இருக்கும்; இல்லையெனில் வேறுபட்ட மதிப்புகளைக் கொண்டு இருக்கும்.

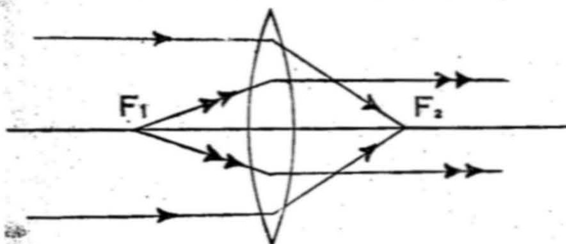
5.17. கார்டினல் புள்ளிகள்

மென்வில்லைகளில் ஒளிவிலகல் நடைபெறும்பொழுது அவைகளின் தடிமம் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளப்படவில்லை. தூரங்களை அளக்கும்பொழுது வில்லையின் எப் புள்ளியிலிருந்து அளக்கின்றோம் என்பதைப்பற்றியும் கவலையில்லை. ஆனால் வில்லைகளின் தொகுப்பிலோ, அல்லது தடிம வில்லைகளிலோ அவற்றின் இடைவெளி அல்லது தடிமத்தைவிட்டு அளக்க வியலாது. மேலும் படிவம் உண்டாகி இருக்கும் இடத்தை, ஒவ்வொரு பரப்பிலும் அடுத்தடுத்து ஏற்படும் விலகல்களைக் கொண்டு காணுவதும் கடினமானதாகும். எனவே, காஸ் (Gauss) என்பவர், ஓரச்சைக் கொண்ட ஒளிவிலகல் தொகுப்புகள் எத்தனை இருப்பினும் அவற்றை ஒரே அமைப்பாகக் கருதலாம் என்றும், எளிய ஒரு சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாமென்றும் காட்டினர். எனவே, ஒளிவிலகல் தொகுப்பைப் பொறுத்த ஏதாவது இரண்டு நிலையானதும், இணையானதுமான தளங்களிலிருந்து தூரங்களை அளக்க வேண்டும். இந்தத் தளங்கள் அச்சை வெட்டும் புள்ளிகள் முதன்மை அல்லது காஸ் புள்ளிகள் (Gauss' points) எனப்படும்.

ஒரு வில்லைத் தொகுப்பிற்கு அல்லது தடிம வில்லைக்கு இரண்டு முக்கியக் குவியங்கள் (F_1, F_2), இரண்டு முதன்மைப் புள்ளிகள் (P_1, P_2), இரண்டு அதிர்விலாப் புள்ளிகள் (Nodal points) என ஆறு புள்ளிகள் உண்டு. இந்த ஆறு புள்ளிகளும் ஒளியியல் தொகுப்பின் கார்டினல் புள்ளிகள் (Cardinal points) எனப்படும்.

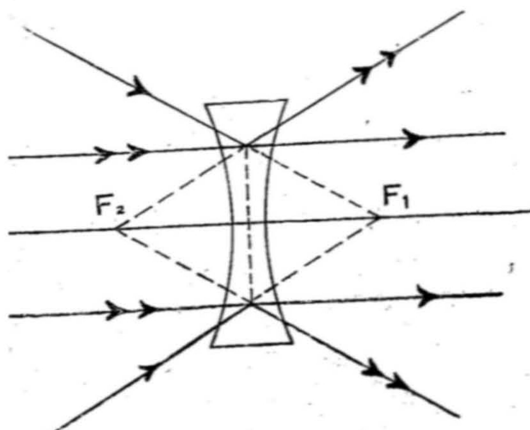
5.18. முதன்மைக் குவியங்களும், குவிய தூரங்களும்

அச்சிற்கு இணையாக வந்து படும் கதிர்கள் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர், குவி வில்லைத் தொகுப்பானல், அச்சின்மீது ஒரு புள்ளி F_2-வில் குவிந்தும், (படம் 5.17) விரிவில்லைத் தொகுப்பானல் ஒரு



படம் 5.17.

புள்ளி F_2-விலிருந்து விரிந்து செல்லுவது போலவும் தோன்றும் (படம் 5.18). இந்தப் புள்ளி F_2, இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் எனப்படும். மேலும் குவிவில்லையானல் அநந்தத்தில் (Infinity) உள்ள ஒரு புள்ளிப் பொருளுக்கான (Point object) படிவம் F_2-வில் உண்டாகும் ($u = \infty$).



இதே போன்று குவிவில்லைத் தொகுப்பில் அதன் அச்சின் மீதுள்ள புள்ளி F_1-லிருந்து புறப்படும் கதிர்களோ, அல்லது விரிவில்லைத் தொகுப்பில் புள்ளி F_1-ஐ நோக்கி அனுப்பப்பட்ட கதிர்களோ, விலகலுக்குப் பின்னர் அச்சிற்கு இணையாக வெளியேறும். இந்தப் புள்ளி F_1 தொகுப்பின் முதல் முக்கியக் குவியம் (First principal focus) எனப்படும். F_1-ல் வைக்கப்படும் புள்ளிப் பொருளுக்கான படிவம் அநந்தத்தில் உண்டாகும் ($v = \infty$).

இவ்வாறான புள்ளிகள் F_1, F_2 இரண்டும் முக்கியக் குவியங்கள் என்றும், அவற்றின் வழியே தொகுப்பின் அச்சிற்குக் குத்தாக உள்ள தளங்கள் குவியத் தளங்கள் (Focal planes) என்றும் கூறப்படும்.

51.9. குவியத்தளங்களின் முக்கியத் தன்மைகள்

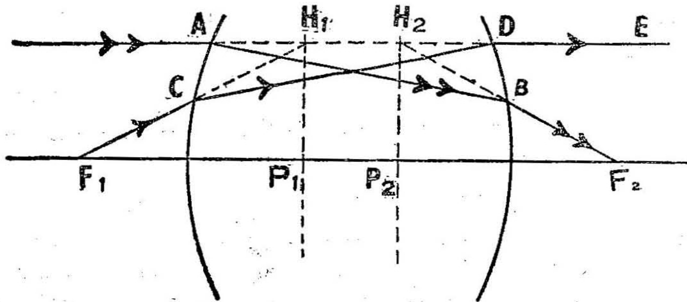
(1) பொருள் வெளியின் (Object space) பக்கம் அமையும் குவியத் தளத்தின் மீதுள்ள புள்ளியொன்றிலிருந்து செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள், படிவ வெளியில் (Image space) பரிமாற்று இணைக் கதிர்களாக வெளியேறும்.

(2) பொருள் வெளியில் ஒன்றுக்கொன்று இணையான கதிர்கள் தொகுப்பில் விலகலுக்குப் பின்னர், படிவவெளியின் பக்கம் அமையும் குவிய தளத்தின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்வனவாக அமையும்.

5.20. முதன்மைப் புள்ளிகளும், முதன்மைத் தளங்களும் (Principal points and planes)

ஒரு வில்லைத் தொகுப்பு அல்லது, ஒரு தடிம வில்லைக்கு இரண்டு முதன்மைப் புள்ளிகளும், இரண்டு முதன்மைத் தளங்களும் உண்டு. பொருள் வெளியிலிருந்து வரும் கதிரொன்று விலகலுக்குப் பின்னர் படிவவெளியில் இணையாக வெளியேறு வதாகக் கொள்வோம். படுகதிரை முன்னோக்கியும், அதற்கு ஒப்பான படிவவெளியில் அமையும் இணைக்கதிரைப் பின்னோக்கியும் நீட்டினால், அவை ஒரு புள்ளியில் வெட்டிக்கொள்ளும். இதைப் போன்ற பல கதிர்களைக் கருதினால் ஒவ்வொரு படுகதிரின் நீட்சியும் இணையாக வெளியேறும் விடுகதிரின் பின்னோக்கிய நீட்சியும், சில புள்ளிகளில் வெட்டிக் கொள்வதைக் குறிக்கலாம். இவ்வாறு வெட்டிக் கொள்ளும் எல்லாப் புள்ளிகளும் தொகுப்பின் அச்சிற்கு நேர்குத்தான ஒரு தளத்தில் அமைகின்றன. இந்தத்

தளம், தொகுப்பின் முதல் முதன்மைத் தளம் (First principal plane) எனப்படும். இத்தளம் அச்சைச் சந்திக்கும் புள்ளி முதல் முதன்மைப்புள்ளி (First principal point) எனப்படும். இதே போன்று பொருள் வெளியில் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வந்து தொகுப்பின் மீது விழும் கதிர்களை அவைகள் வந்த திசையிலேயும். தொகுப்பில் விலகலடைந்து செல்லும் விடுகதிர்களைப் பின்னோக்கியும் நீட்டினால், பரிமாற்றுக் கதிர்கள் வெட்டிக்கொள்ளும் புள்ளிகள் எல்லாம் அச்சிற்கு நேர்க்குத்தான ஒரே தளத்தில் அமையும். அந்தத் தளம் தொகுப்பின் இரண்டாவது முதன்மைத் தளம் என்றும் அது அச்சைச் சந்திக்கும் புள்ளி இரண்டாவது முதன்மைப் புள்ளி என்றும் சொல்லப்படும்.



படம் 5.19. முதன்மைப் புள்ளிகளும், முதன்மைத் தளங்களும்

படம் 5.19-ல் ஒரு தடிம வில்லை அல்லது ஒரு வில்லைத் தொகுப்பிற்கான முக்கியக் குவியங்களை F_1, F_2 எனக் கொள்க. அதன் அச்சிற்கு இணையாக A-யில் படும் கதிரொன்று விலகலுக்குப் பின்னர் BF_2 என்னும் திசையில் அதனுடைய இரண்டாவது குவியம் F_2-வின் வழியாகச் செல்கின்றது. படுகதிரை முன்னோக்கியும், விடுகதிரைப் பின்னோக்கியும் நீட்ட H_2-வில் வெட்டிக்கொள்கின்றன. H_2-வின் வழியாகவும், அச்சிற்குச் செங்குத்தாகவும் உள்ள தளம் H_2P_2, இரண்டாவது முதன்மைத்தளம் என்றும், அது அச்சைச் சந்திக்கும் புள்ளி P_2 இரண்டாவது முதன்மைப் புள்ளி என்றும் சொல்லப்படும்.

முதல் முக்கியக் குவியம் F_1-ன் வழியாகப் படும் கதிர் F_1C-ஐக் கருதினால் அது விலகலுக்குப் பின்னர் அச்சிற்கு இணையான DE திசையில் செல்கின்றது. F_1C-க்கான விடுகதிர், A-க்குச் சமமான உயரத்தில் உள்ள D-யின் வழியாக அமையுமாறு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். கதிர்கள் F_1C, DE இவைகளை நீட்ட அவை H_1-ல் வெட்டிக்கொள்கின்றன. H_1-ன் வழியாகவும், அச்சிற்கு நேர்க்

குத்தாகவும் அமையும் தளம் P_1H_1, முதல் முதன்மைத்தளம் (First principal plane) என்றும், அது அச்சைச் சந்திக்கும் P_1 என்னும் புள்ளி முதன் முதன்மைப்புள்ளி (First principal point) என்றும் சொல்லப்படும். படத்திலிருந்து H_1-ஐ நோக்கி வரும் படுகதிர்கள், விலகலுக்குப் பின்னர் H_2-விலிருந்து செல்வது தெளிவு. இதனுல் H_2, H_1-ன் படிவமாகும். எனவே H_1, H_2 இரண்டும் பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் என்றும், H_1P_1, H_2P_2 இரண்டு தளங்களும், பரிமாற்றுத் தளங்கள் என்றும் சொல்லப்படும். மேலும் $H_1P_1 = H_2P_2$ ஆகையால் அவற்றின் நீளப் பெருக்கத்தின் மதிப்பு ஓரலகு (Unity) ஆகும்.

5.21. முதன்மைத் தளங்களின் முக்கியத் தன்மைகள் :

1. முதன்மைத் தளங்கள் ஓரலகு நேர்க்குறி பக்கப் பெருக்கம் கொண்ட பரிமாற்றுத் தளங்கள் அல்லது ஓரலகுத் தளங்கள் எனப்படும். தடிம வில்லைக்கு (படம் 5.19) P_2F_2 இரண்டாவது முக்கியக் குவிய தூரமாகவும், P_1F_1 முதல் முக்கியக் குவிய தூரமாகவும் அமைகின்றன.

2. படுகதிரொன்று அல்லது அதன் நீட்சி முதல் முதன்மைத் தளத்தை அச்சிலிருந்து குறிப்பிட்டதொரு உயரத்தில் வெட்டினுல், அதற்கான விடுகதிரோ அல்லது அதன் நீட்சியோ, இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தை அச்சிலிருந்து அதே உயரத்தில் வெட்டும்.

3. அச்சின்மேல் குறிப்பிட்டதொரு புள்ளியிலிருந்து செல்லும் படுகதிர் முதல் முதன்மைத் தளத்தை அச்சிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில் வெட்டினுல், அதற்கான பரிமாற்று விடுகதிர் இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தில், சமமான உயரத்தில் உள்ள புள்ளியில் இருந்து வெளிப்படும். மேலும் இவ்வாறு வரும் எல்லா விடுகதிர்களும் அச்சின்மேல் படிவப் புள்ளியில் குவியும்.

5.22. அதிர்விலாப் புள்ளிகளும், தளங்களும் :

ஒரு வில்லைத் தொகுப்பு அல்லது தடிம வில்லையின் அச்சின் மேல் ஓரலகு கோணப் பெருக்கத்தைக் கொடுக்கக்கூடிய இரண்டு பரிமாற்றுப் புள்ளிகள், அதிர்விலாப் புள்ளிகள் (Nodal points) எனப்படும். அதாவது இப் புள்ளிகளில் ஏதாவது ஒன்றை நோக்கிப் படும் கதிர்கள், ஒளியியல் தொகுப்பில் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் படுதிசைக்கு இணையான திசையில் இரண்டாவது புள்ளியிலிருந்து செல்லுவதுபோலத் தோன்றும். (படம் 5.20).

படத்தில் H_1P_1, H_2P_2 ஒளியியல் தொகுப்பொன்றின் முதன்மைத் தளங்கள் என்றும், AF_1, BF_2 என்பவை குவியத் தளங்கள்

என்றும் கொள்வோம். முதல் முக்கியத் தளத்தின்மீது அமைந்துள்ள புள்ளி A-ஐக் கொண்டு அச்சிற்கு இணையான AH_1 என்னும்

படம் 5 20 அதிர்விலாப் புள்ளிகளும், தளங்களும்

கதிரை வரையவும், இதற்கான பரிமாற்றுக் கதிர் இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தின்மீதுள்ள H_2-விலிருந்து, $H_1P_1 = H_2P_2$ என்றிருக்குமாறு, F_2-வின் வழியாகச் செல்லும்.

இதேபோன்று மற்றொரு கதிர் AQ-வை, விடுகதிரான H_2F_2-க்கு இணையாகக் கொள்ளவும். அது, முதல் முதன்மைத் தளத்தை Q-வில் சந்திக்கட்டும். இது விலகலுக்குப் பின்னர் இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தின்மீதுள்ள R என்னும் புள்ளியிலிருந்து $P_1Q = P_2R$ இருக்குமாறும், H_2F_2-க்கு இணையான RT திசையிலும் வெளியேறும். ஏனெனில் கதிர்கள் AH_1, AQ இரண்டும் முதல் குவியத் தளத்தின்மீதுள்ள புள்ளி A-யிலிருந்து புறப்படுபவையாகும். இப்போது படுகதிர் AQ-வும் விடுகதிர் RT-யும் முக்கிய அச்சை வெட்டும் புள்ளிகள் N_1, N_2 எனக் கொண்டால், அவை இரண்டும் அதிர்விலாப் புள்ளிகள் (Nodal points) எனப்படும். மேலும் N_1, N_2 இரண்டும் ஒரு சோடி பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் ஆகும். படுகதிர் AN_1-க்கு, விடுகதிர் RT இணையான பரிமாற்றுக் கதிராகும். எனவே,

$$\alpha_1 = \alpha_2,$$

அல்லது டேன் α_1 = டேன் α_2 ஆகும்.

செங்கோண முக்கோணங்கள் QP_1N_1, RP_2N_2 இவைகளில்

$$QP_1 = RP_2$$
$$\angle QN_1P_1 = \angle RN_2P_2$$

எனவே இவைகள் சர்வசம முக்கோணங்கள் ஆகும். இதனால்,

$$P_1N_1 = P_2N_2 \qquad (1)$$

சமன்பாடு (1)-ல் இரண்டு பக்கங்களிலும் N_1P_2-வைக் கூட்ட,

$$P_1N_1 + N_1P_2 = P_2N_2 + N_1P_2$$

$$P_1P_2 = N_1N_2$$

எனவே அதிர்விலாப் புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரமும், முதன்மைப் புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரமும் சமமாகும். மேலும் செங்கோண முக்கோணங்கள், AF_1N_1, $H_2P_2F_2$ இவைகளில்,

$$AF_1 = H_2P_2$$

$$\angle AN_1F_1 = \angle H_2F_2P_2$$

எனவே இவை சர்வசம முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \quad F_1N_1 = P_2F_2$$

அல்லது,

$$P_1F_1 + P_1N_1 = P_2F_2$$

அதாவது,

$$P_1N_1 = P_2F_2 - F_1P_1$$

$$= f_2 - f_1$$

எனவே,

$$P_1N_1 = P_2N_2 = f_2 - f_1$$

ஒளியியல் தொகுப்பின் இரு பக்கங்களிலும் உள்ள ஊடகம் ஒன்றேயானால்,

$$f_2 - f_1 = O \text{ ஆகும்.}$$

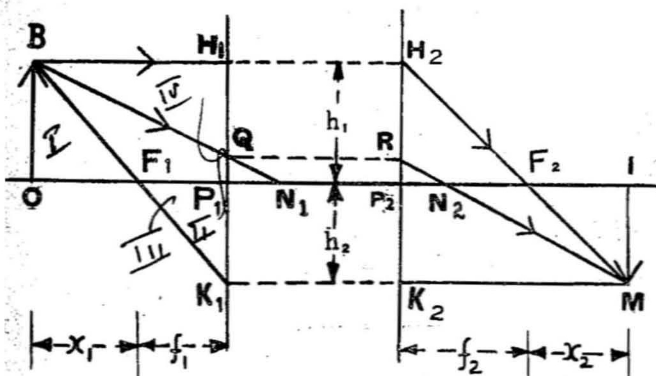
$$\therefore \quad P_1N_1 = P_2N_2 = O.$$

அதாவது ஒளியியல் தொகுப்பு முழுவதும் காற்றுபோன்ற ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டால் முதன்மைப் புள்ளிகள் அதிர்விலாப் புள்ளிகளுடன் ஒன்றும்.

அதிர்விலாப் புள்ளிகளின் வழியாகவும், அச்சிற்குச் செங்குத்தாகவும் உள்ள தளங்கள், அதிர்விலாத் தளங்கள் (Nodal planes) எனப்படும்.

5.23. வடிவியல் முறையில் படிவம் அமையும் இடத்தைக் காணுதலும் நியூட்டனின் சமன்பாடும் :

ஒளியியல் தொகுப்பொன்றில் கார்டினல் புள்ளிகளின் நிலைகள் மட்டுமே தெரிந்தால், அத் தொகுப்பின் அச்சின்மீது வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பொருளின் படிவம் உண்டாகும் இடத்தை வடிவியல் முறையில் காண முடியும்.



படம் 5.21.

தொகுப்பிலுள்ள வில்லைகளின் நிலையோ அல்லது தடிம வில்லையானால் அதன் பரப்புக்களின் நிலையோ, ஊடகத்தின் தன்மையோ தெரியவேண்டிய அவசியமில்லை. கார்டினல் புள்ளிகளின் நிலைகள் தெரிந்தாலே போதுமானது. படம் 5.21-ல் P_1, P_2 முதன்மைப் புள்ளிகளின் நிலைகளையும், F_1, F_2 முக்கியக் குவியங்களின் நிலைகளையும், N_1, N_2 அதிர்விலாப் புள்ளிகளின் நிலைகளையும் குறிக்கட்டும். OB அச்சின்மீதுள்ள பொருள் எனில், B-யின் படிவத்தைக் கீழ்க் காணும் வரைமுறைகளினால் காண இயலும்.

1. அச்சிற்கு இணையாக BH_1 என்னும் கதிரை முதன்மைத் தளத்தை H_1-ல் சந்திக்குமாறு வரையவும். இதற்கான பரிமாற்றுக் கதிர், இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் F_2-வின் வழியாக $H_2 P_2 = H_1 P_1$ என்று இருக்குமாறு விடுபடும்.

2. B-யிலிருந்து F_1-ன் வழியாகச் சென்று முதல் முதன்மைத் தளத்தை K_1-ல் சந்திக்கும் $B F_1 K_1$ என்னும் கதிரை வரையவும். இது இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தின்மீதுள்ள K_2-ன் வழியாக அச்சிற்கு இணையாக $K_1 P_1 = K_2 P_2$ என்று இருக்குமாறு விடுபடும்படி வரையவும்.

5.23. வடிவியல் முறையில் படிவம் அமையும் இடத்தைக் காணுதலும் நியூட்டனின் சமன்பாடும் :

ஒளியியல் தொகுப்பொன்றில் கார்டினல் புள்ளிகளின் நிலைகள் மட்டுமே தெரிந்தால், அத் தொகுப்பின் அச்சின்மீது வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பொருளின் படிவம் உண்டாகும் இடத்தை வடிவியல் முறையில் காண முடியும்.

படம் 5.21.

தொகுப்பிலுள்ள வில்லைகளின் நிலையோ அல்லது தடிம வில்லையானுல் அதன் பரப்புக்களின் நிலையோ, ஊடகத்தின் தன்மையோ தெரியவேண்டிய அவசியமில்லை. கார்டினல் புள்ளிகளின் நிலைகள் தெரிந்தாலே போதுமானது. படம் 5.21-ல் P_1, P_2 முதன்மைப் புள்ளிகளின் நிலைகளையும், F_1, F_2 முக்கியக் குவியங்களின் நிலைகளையும், N_1, N_2 அதிர்விலாப் புள்ளிகளின் நிலைகளையும் குறிக்கட்டும். OB அச்சின்மீதுள்ள பொருள் எனில், B-யின் படிவத்தைக் கீழ்க் காணும் வரைமுறைகளினுல் காண இயலும்.

1. அச்சிற்கு இணையாக BH_1 என்னும் கதிரை முதன்மைத் தளத்தை H_1-ல் சந்திக்குமாறு வரையவும். இதற்கான பரிமாற்றுக் கதிர், இரண்டாவது முக்கியக் குவியம் F_2-வின் வழியாக $H_2P_2 = H_1P_1$ என்று இருக்குமாறு விடுபடும்.

2. B-யிலிருந்து F_1-ன் வழியாகச் சென்று முதல் முதன்மைத் தளத்தை K_1-ல் சந்திக்கும் BF_1K_1 என்னும் கதிரை வரையவும். இது இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்தின்மீதுள்ள K_2-ன் வழியாக அச்சிற்கு இணையாக $K_1P_1 = K_2P_2$ என்று இருக்குமாறு விடுபடும்படி வரையவும்.

3. மூன்ருவது கதிராக B-யிலிருந்து முதல் அதிர்விலாப் புள்ளி N_1-ஐ நோக்கிச் செல்லும். BQN_1-ஐ வரையவும். இது விலகலுக்குப் பின்னர் BN_1-க்கு இணையாக N_2-வில் இருந்து செல்லுமாறு வரையவும்.

ஒளிவிலகல் அடைந்த ஏதாவது இரண்டு கதிர்கள் சந்திக்கும் புள்ளி M தான் B-யின் படிவமாகும். அச்சிற்கு நேர்க்குத்தாக M-ன் வழியாக IM-ஐ வரைந்தால், IM தான் OB-யின் படிவமாகும்.

படத்தில் முக்கோணங்கள் OBF_1, $F_1K_1P_1$ இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்.

$$\frac{K_1P_1}{OB} = \frac{P_1F_1}{OF_1}$$

ஆனல்,

$$K_1P_1 = IM$$

$$\therefore \quad \frac{IM}{OB} = \frac{f_1}{x_1}. \tag{1}$$

மேலும் முக்கோணங்கள்,

IMF_2, $H_2P_2F_2$ ஒத்த முக்கோணங்கள்.

எனவே,

$$\frac{IM}{H_2\,P_2} = \frac{IF_2}{P_2\,F_2}$$

ஆனல்,

$$H_2\,P_2 = OB$$

$$\therefore \quad \frac{IM}{OB} = \frac{x_2}{f_2} \tag{2}$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{f_1}{x_1} = \frac{x_2}{f_2}$$

அல்லது,

$$x_1\,x_2 = f_1\,f_2. \tag{3}$$

சமன்பாடு (3) நியூட்டனின் சமன்பாடு எனப்படும்.

நியூட்டனின் சமன்பாட்டைப் பெற, முதல் இரண்டாவது குவிய தளங்களில் இருந்து தூரங்களை அளந்துள்ளோம். மாருக

முதன்மைத் தளங்களிலிருந்து பொருள், படிவ தூரங்களை அளக்கலாம். இதன்படி முதல் முதன்மைத் தளத்திற்கும், பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் u எனவும், படிவத்திற்கும், இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை v என்றும் கொள்வோம்.

படம் 5.21-ல்,

$$P_1 O = H_1 B = u$$

$$P_2 I = K_2 M = v$$

மேலும்,

$$OB = P_1 H_1 = P_2 H_2 = h_1$$

$$IM = K_1 P_1 = K_2 P_2 = h_2$$

$$K_1 H_1 = K_1 P_1 + P_1 H_1 = h_1 + h_2$$

$$K_2 H_2 = K_2 P_2 + P_2 H_2 = h_1 + h_2$$

முக்கோணங்கள் $K_1 F_1 P_1$, $K_1 BH_1$ ஒத்த முக்கோணங்கள்.

எனவே

$$\frac{P_1 F_1}{H_1 B} = \frac{K_1 P_1}{K_1 H_1}$$

$$\frac{f_1}{u} = \frac{h_2}{h_2 + h_1} \qquad (4)$$

முக்கோணங்கள், $H_2 P_2 F_2$, $H_2 K_2 M$ ஒத்த முக்கோணங்கள்

எனவே

$$\frac{P_2 F_2}{K_2 M} = \frac{P_2 H_2}{K_2 H_2}$$

$$\frac{f_2}{v} = \frac{h_1}{h_2 + h_1} \qquad (5)$$

சமன்பாடுகள் (4), (5) இவைகளைக் கூட்ட,

$$\frac{f_1}{u} + \frac{f_2}{v} = \frac{h_1 + h_2}{h_1 + h_2}$$

$$= 1 \qquad (6)$$

இந்த வில்லைத் தொகுப்பு காற்றில் வைக்கப்பட்டிருந்தால்

$f_2 = f_1 = f$ ஆகும்.

எனவே

$$\frac{f}{u} + \frac{f}{v} = 1$$

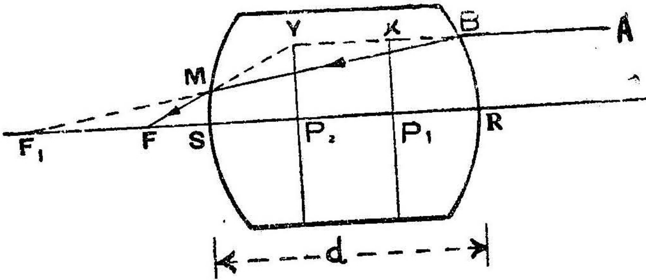
அல்லது

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \qquad (7)$$

ஆகும்.

5.24. தடிம வில்லையொன்றின் வழியே ஒளிவிலகல் :

தடிம வில்லையொன்றின் இரு பரப்புகளின் மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் அதிகமாக இருக்கும். எனவே தூரங்களை அளக்கும்பொழுது வில்லையினுடைய தடிமத்தைவிட்டு அளக்க இயலாது. தடிம வில்லையில் ஒளிவிலகலுக்கு அச்சிணைக் கதிர்களை மட்டுமே கருத உள்ளோம்.



படம் 5.22. தடிம வில்லையில் ஒளிவிலகல்

தடிம வில்லையை உருவாக்கும் இரு பரப்புகளின் உச்சிகளை முறையே R, S எனக் கொள்வோம். அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை d எனக் கொள்வோம். அச்சிற்கு இணையாக, பரப்பு R-ன்மேல் AB என்னும் ஒளிக்கதிர் விழுவதாகக் கொள்வோம். பரப்பு R-ல் விலகலுக்குப் பின்னர் BF_1 என்னும் திசையில் செல்வதாகக் கொள்வோம். கதிர் BF_1, மீண்டும் இரண்டாவது பரப்பு S-ல் M என்னுமிடத்தில் விலகல் அடைந்து MF என்னும் திசையில் செல்கின்றது. இரண்டாவது பரப்பில் விலகலுக்கு F_1 பொருளாக அமைகின்றது. F_1-க்கு F படிவமாக அமைகின்றது.

பரப்பு R–ல் ஒளிவிலகலைக் கருத,

$$u = \infty$$

$$v = RF_1 \text{ ஆகும்.}$$

வில்லையின் பொருளுக்கான விலகல் எண் μ என்றும், முதல் பரப்பின் வளைவு ஆரம் R_1 எனவும் கொண்டால் விலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{\mu - 1}{R_1} = \frac{\mu}{RF_1} \text{ ஆகும்.}$$

முதல் பரப்பின் திறனை K_1 எனக் கொண்டால்,

$$K_1 = \frac{\mu - 1}{R_1} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$\frac{1}{RF_1} = \frac{\mu - 1}{\mu \; R_1} = \frac{K_1}{\mu} \qquad (1)$$

ஆகும்.

இரண்டாவது பரப்பின் வளைவு ஆரம் R_2 எனக் கொள்வோம்.

இரண்டாவது பரப்பு S-ல் விலகலைக் கருத,

$u = -SF_1, v = SF$ ஆகும். எனவே விலகல் சமன்பாட்டை.

$$\frac{1}{SF} - \frac{\mu}{SF_1} = \frac{1 - \mu}{R_2}$$

என எழுதலாம்.

பரப்பு S-ன் திறனை K_2 எனக் கொண்டால்,

$$K_2 = \frac{1 - \mu}{R_2} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$\frac{1}{SF} - \frac{\mu}{SF_1} = \frac{1 - \mu}{R_2} = K_2 \text{ ஆகும்.}$$

SF_1-ஆல் சமன்பாட்டைப் பெருக்க,

$$\frac{SF_1}{SF} - \mu = K_2.SF_1$$

அல்லது

$$\begin{aligned} \frac{SF_1}{SF} &= \mu + K_2.SF_1 \\ &= \mu + K_2\,(RF_1 - RS) \\ &= \mu + K_2\,(RF_1 - d) \\ &= \mu + K_2 \left(\frac{\mu}{K_1} - d\right) \qquad (2) \end{aligned}$$

$$\left[\because \; RF_1 = \frac{\mu}{K_1} \right]$$

விடுகதிர் MF-ஐப் பின்னோக்கியும், படுகதிர் AB-ஐ முன்னோக்கியும் நீட்ட அவை Y-ல் வெட்டிக்கொள்கின்றன. Y-ன் வழியாக அச்சிற்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு அச்சை P_2-வில் சந்திக்கட்டும். P_2F வில்லையின் குவிய தூரமாகும்.

படம் 5.22-ல் $\triangle P_2YF$, $\triangle SMF$ ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{P_2Y}{P_2F} = \frac{SM}{SF}$$

$$= \frac{SM}{SF_1} \cdot \frac{SF_1}{SF} \qquad (3)$$

RB மிகக் குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டதெனில்,

முக்கோணங்கள் RBF_1, SMF_1 ஒத்தவையாகும்.

எனவே,

$$\frac{SM}{SF_1} = \frac{RL}{RF_1} = \frac{P_2Y}{RF_1} \qquad (4)$$

சமன்பாடு (4)-லிருந்து $\frac{SM}{SF_1} = \frac{P_2Y}{RF_1}$

என்னும் மதிப்பைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{P_2Y}{P_2F} = \frac{P_2Y}{RF_1} \cdot \frac{SF_1}{SF}$$

அல்லது,

$$\frac{1}{P_2F} = \frac{1}{RF_1} \cdot \frac{SF_1}{SF} \qquad (5)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து $\frac{1}{RF_1}$, $\frac{SF_1}{SF}$ ஆகியவைகளின் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{P_2F} = \frac{K_1}{\mu}\left[\mu + K_2\left(\frac{\mu}{K_1} - d\right)\right]$$

$$= K_1 + K_2 - \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot d}{\mu}$$

வில்லையின் குவிய தூரத்தை f எனில்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P_2F} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$\frac{1}{P_2F} = \frac{1}{f} = K_1+K_2-\frac{K_1 \cdot K_2 . d}{\mu}$$

வில்லையின் திறன் $\frac{1}{f}$ ஆகும்.

திறன் $\frac{1}{f} = K$ எனக் கொண்டால்,

$$K = K_1+K_2-\frac{K_1K_2d}{\mu} \qquad (6)$$

சமன்பாடு (6)-ல் K, K_1, K_2 ஆகியவைகளுக்கான மதிப்புக் களைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{f} = \frac{\mu-1}{R_1}+\frac{1-\mu}{R_2}-\frac{d}{\mu}\cdot\frac{(\mu-1)}{R_1}\cdot\frac{(1-\mu)}{R_2}$$

R_1 நேர்க்குறியையும், R_2 எதிர்க்குறியையும் கொண்டிருக்கும். ஆதலால்,

$$\frac{1}{f} = \frac{\mu-1}{R_1}-\frac{1-\mu}{R_2}-\frac{d}{\mu}\cdot\frac{\mu-1}{R_1}\cdot\frac{(1-\mu)}{(-R_2)}$$

$$= \frac{\mu-1}{R_1}+\frac{\mu-1}{R_2}-\frac{d}{\mu}\cdot\frac{(\mu-1)}{R_1}\cdot\frac{(\mu-1)}{R_2}$$

$$= (\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-\frac{d(\mu-1)}{\mu R_1R_2}\right] \qquad (7)$$

சமன்பாடு (7) தடிம வில்லைக்கான சமன்பாடாகும்.

முதன்மைப் புள்ளிகளின் நிலைகள் :

படம் 5.22-ல் P_2YF, SMF இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள்

$$\therefore \quad \frac{P_2Y}{P_2F} = \frac{SM}{SF} \text{ அல்லது } \frac{SF}{P_2F} = \frac{SM}{P_2Y} \qquad (8)$$

முக்கோணங்கள் RBF_1, SMF_1 இரண்டும் ஒத்த முக்கோ ணங்கள்

எனவே,

$$\frac{SM}{RB} = \frac{SF_1}{RF_1} \text{ அல்லது } \frac{SM}{P_2Y} = \frac{SF_1}{RF_1} \qquad (9)$$

$$[\because \quad RB = P_2Y]$$

சமன்பாடுகள் (8) (9) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{SF}{P_2F} = \frac{SF_1}{RF_1}$$

அல்லது

$$1 - \frac{SF}{P_2F} = 1 - \frac{SF_1}{RF_1}$$

அதாவது

$$\frac{P_2F - SF}{P_2F} = \frac{RF_1 - SF_1}{RF_1} \text{ ஆகும்.}$$

$$\frac{P_2S}{P_2F} = \frac{d}{RF_1}$$

அல்லது

$$P_2S = d \cdot \frac{P_2F}{RF_1}$$

P_2F-ஐ வில்லையின் குவிய தூரம் f எனில், $\frac{1}{f} = K$ வில்லையின் திறனாகும். எனவே $\frac{1}{RF_1}$-க்கான மதிப்பை (1)-லிருந்து பதிலீடு செய்ய,

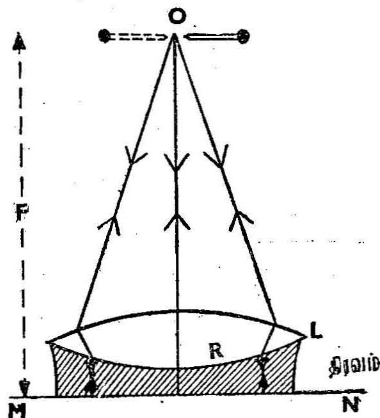
$$P_2\, S = d \cdot \frac{K_1}{\mu K} \text{ ஆகும்.}$$

பரப்பு R-க்கு, P_1-தான் முதன்மைப்புள்ளி எனக் கொள்ளலாம். வில்லையின் S-பரப்பின்மீது அச்சிற்கு இணையான கதிர் படும் பொழுது, $RP_1 = -\frac{d \cdot K_2}{\mu \cdot K}$ என நிரூபிக்கலாம். RP_1, P_2S ஆகியவைகளின் மதிப்புக்கள் முதல் பரப்பில் இருந்தும் இரண்டாவது பரப்பில் இருந்தும் முதன்மைப் புள்ளிகள் அச்சின் மீது அமையும் தூரங்களைக் கொடுக்கின்றன.

5.25. திரவவில்லை–திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்

இரு வில்லைகளின் இணைப்பு முறையைக் கொண்டு திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம். சமதள ஆடியொன்றின் மீது விலகல் எண்ணைக் காணவேண்டிய திரவத்தின் பெரிய துளியொன்றை வைக்கவும். குவிவில்லை

யொன்றை அத்திரவத் துளியின்மீது வைக்கவும். வில்லையின் கீழ்ப் பரப்புக்கும் ஆடிப் பரப்புக்குமிடையில் திரவம் பரவி, படம் 5.23-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு திரவ மட்டக் குழிவில்லை (Liquid plano concave lens) யொன்று உண்டாகின்றது. குவிவில்லையும், திரவ வில்லையும் இணைந்து ஒரு குவிவில்லையைப் போன்று செயல்படுகின்றன.



படம் 5.23 திரவ வில்லை

இவ்வமைப்புக்கு மேலே, தாங்கியொன்றின்மீது மேலும் கீழும் நகருமாறு ஒளியூட்டப்பட்ட குண்டூசி போன்ற பொருள் ஒன்றை வைக்கவும். வில்லைத் தொகுப்பிற்கும் பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவை இவ்வமைப்பினால் மாற்றிக்கொள்ள இயலும். பொருளின் நிலையை மாற்றிப் பொருளுக்கும் படிவத்திற்கும் இடமாற்றம் (Parallax) இல்லாமல் சரிசெய்து கொள்ளவும். அந்நிலையில் பொருள் O-விலிருந்து வில்லைத் தொகுப்பின்மீது படும் கதிர்கள், மீண்டும் அதே திசையில் திருப்பப்படும். எனவே, O-க்கு அருகிலேயே படிவம் உண்டாகின்றது. இவ்வாறு படிவம் உண்டாகும் பொழுது சமதள ஆடியின் மீது கதிர்கள் குத்தாக ஒன்றுக்கொன்று இணையாகப் படுகின்றன. இக் கதிர்கள் மீண்டும் வந்த திசையிலேயே திருப்பப்படுகின்றன. திருப்பப்படும் இணைக்கதிர்கள் திரவ வில்லைத் தொகுப்பில் விலகலுக்குப் பின்னர் O-வில் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றன. எனவே, சமதள ஆடிப் பரப்பிற்கும், பொருள் O அமையும் நிலைக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு, திரவ-குவிவில்லைத் தொகுப்பின் குவிய தூரம் F-ஆகும். குவிவில்லையின் குவிய தூரம் f_1 என்றும்,

திரவக் குழிவில்லையின் குவிய தூரத்தை f_2 எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \text{ ஆகும்.}$$

திரவக் குழிவில்லை (Concave lens) உண்டாவதால் f_2-வின் மதிப்பு எதிர்க் குறியைக் கொண்டிருக்கும். எனவே,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தல் வேண்டும். குவிவில்லையின் குவிய தூரம் f_1, தொகுப்பின் குவிய தூரம் F, இவற்றைக் கொண்டு f_2-வின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

அதாவது

$$f_2 = -\frac{F f_1}{F - f_1} \text{ ஆகும்.}$$

திரவத்துடன் இணைந்துள்ள குவிவில்லையின் வளைவு ஆரமே திரவக் குழிவில்லையின் வளைவு ஆரமாக அமையும். திரவக் குழிவில்லையின் மற்ற பக்கம் தட்டையாக உள்ளமையால் அதன் வளைவு ஆரம் முடிவிலா மதிப்பைக் கொண்டது. குவி வில்லையின் கீழ்ப் பாகத்தின் வளைவு ஆரத்தை R-எனக் கொண்டால் திரவ குழிவில்லைக்கான சமன்பாட்டை,

$$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\infty}\right) \text{ என எழுதலாம்.}$$

திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் ஆகும்.

$$\therefore \quad \frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R}\right),$$

அல்லது

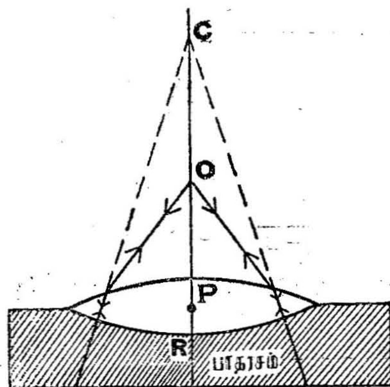
$$\mu = 1 + \frac{R}{f_2}.$$

இச் சமன்பாட்டில் வளைவு ஆரம் R-ன் மதிப்பு தெரிந்தா திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

5.26. பாய்ஸ் முறையில் வளைவு ஆரம் காணல்

திரவவில்லை அமைப்பில், திரவக் குழிவில்லை, குவிவில்லையி வளைவு ஆரத்தின் மதிப்பைக்கொண்டது. எனவே குவிவில்லையி வளைவு ஆரத்தினைப் பாய்ஸ் முறை (Boy's Method)ப்படிக் கண்

சமன்பாட்டில் அம் மதிப்பினைப் பயன்படுத்தலாம். படம் 5.25-ல் உள்ளது போன்று அகலில் (Dish) உள்ள பாதரசத்தின்மீது குவிவில்லையை மிதக்கவிடவும். தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டு மேலும், கீழும் நகரும் குண்டூசி போன்ற பொருளை வில்லைக்கு மேலே வைக்கவும். பொருள் O-வின் நிலையைச் சரிசெய்து, குண்டூசியின் முனையும், உண்டாகும் உண்மைப் படிவத்தின் முனையும் இடமாறு தோற்றப்பிழை இல்லாமல் அமையுமாறு



படம் 5.24. "பாய்ஸ்" முறையில் வளைவு ஆரம் காணல்

செய்யவும் (படம் 5.24). இந்நிலையில் பொருள் O-விலிருந்து செல்லும் கதிர்கள், வில்லையின் மேற்பரப்பில் விலகல் அடைகின்றன. விலகலடைந்த கதிர்கள், கீழ்ப் பரப்பில் எதிரொளிக்கப் பட்டு, வந்த திசையிலேயே திருப்பப்படுகின்றன. கீழ்ப்பரப்பில் விழும் கதிர்கள், அப் பரப்பிற்குக் குத்தாக அமைகின்றன. எனவே வில்லைக்குள் அமையும் கதிரின் திசையைப் பின்நோக்கி நீட்டினால், அது வில்லையின் அச்சை C-யில் வெட்டுகின்றது. C-கீழ்ப் பரப்பின் வளைவு மையமாகும். பாதரசம் இல்லாவிடில் விலகலடைந்த கதிர்கள் திசைமாற்றம் இல்லாமல் வெளியேறி இருக்கும். எனவே O-வின் படிவம் C-யில் அமைகின்றது.

குவிவில்லையில் ஒளிவிலகலுக்கு, $PO = u$, $PC = v = R$ (சற்றேறக் குறைய) ஆகும். வில்லையின் குவிய தூரம் f_1 எனில்,

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

பொருள்-வில்லை தூரம் u நேர்க்குறியையும், f_1 நேர்க்குறியையும், மாயப் படிவமாதலால் v எதிர்க்குறியையும் கொண்டிருக்கும்.

எனவே,

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{(-R)} + \frac{1}{u}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{u} - \frac{1}{R}$$

அல்லது,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{u} - \frac{1}{f_1}$$

$$= \frac{f_1 - u}{f_1 u}$$

அல்லது,

$$R = \frac{f_1 u}{f_1 - u} \text{ ஆகும்.}$$

சோதனையின் மூலம் u-வின் மதிப்பினைக் கண்டு, குவி வில்லையின் குவிய தூரம் f_1 தெரிந்ததொன்றுகையால் R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. குவி வில்லையொன்றின் குவியதூரம் 10 செ.மீ. (அ) உண்மைப் படிவம் ஏற்படும்பொழுதும், (ஆ) மாயப் படிவம் ஏற்படும்பொழுதும், பொருளின் அளவினைப் போன்று மூன்று மடங்கு உருப்பெருக்கம் கொண்ட படிவம் அமையுமாறு பொருளினை எந்நிலைகளில் வைக்க வேண்டுமெனக் கணக்கிடுக.

(அ) உண்மைப் படிவம்

$$\text{உருப்பெருக்கம் } m = \frac{v}{u}$$

$$\therefore \quad 3 = \frac{v}{u}$$

$$v = 3u$$

$$\because \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{3u} = \frac{1}{10}$$

$$\text{அல்லது } u = \frac{40}{3}$$

$$= 13\tfrac{1}{3} \text{ செ.மீ.}$$

(ஆ) மாயப்படிவம் உண்டாதல்

மாயப்படிவம் உண்டாகும் பொழுது v-எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

$$\therefore \quad m = -\frac{v}{u}$$

$$3 = -\frac{v}{u}$$

$$v = -3u$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{-3u} = \frac{1}{10}$$

அல்லது $u = \dfrac{20}{3}$

$= 6\frac{2}{3}$ செ.மீ.

2. 20 செ.மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குவிவில்லையொன்று, பொருளிலிருந்து 90 செ.மீ. தூரத்தில் அமைந்துள்ள திரையின் மீது உருப்பெருக்கடைந்த படிவத்தினை ஏற்படுத்தப் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. வில்லையை எந்த இடத்தில் வைக்கவேண்டும்? உருப்பெருக்கம் எவ்வளவு இருக்கும்?

வில்லையிலிருந்து பொருள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் தூரம் x எனக் கொள்க.

$$\therefore \quad v = 90 - x$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{90 - x} = \frac{1}{20}$$

$$x^2 - 90x + 1800 = 0$$

$$(x - 30)(x - 60) = 0$$

$\therefore \quad x = 30$ அல்லது 60 செ.மீ.

உருப்பெருக்கம் கொண்ட படிவமாகையால் x = 30 செ.மீ. தான் இருக்க முடியும். $x = 60$ எனில் உருக் குறைந்த படிவம்

உண்டாகும். எனவே, பொருள் வில்லையிலிருந்து 30 செ.மீ தொலைவில் உள்ளது.

$$\therefore \quad u = 30 \text{ செ. மீ.}$$

$$v = 90 - 30$$

$$= 60 \text{ செ.மீ.}$$

$$\therefore \quad \text{உருப்பெருக்கம் } m = \frac{v}{u}$$

$$= \frac{60}{30} = 2$$

3. குழிவில்லையொன்றின் முன்னால் 10 செ.மீ. தொலைவில் 4 செ.மீ. உயரம் கொண்ட பொருளொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. வில்லையினால் ஏற்படும் அதன் படிவம் 3 செ. மீ. உயரம் கொண்டதாக உள்ளது. படிவம் ஏற்படும் தொலைவையும், வில்லையின் குவிய தூரத்தையும் கணக்கிடுக.

குழிவில்லையில் மாயப்படிவம் உண்டாவதால் v-எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

$$\therefore \quad m = -\frac{v}{u} = \frac{\text{படிவ நீளம்}}{\text{பொருள் நீளம்}}$$

அதாவது

$$-\frac{v}{u} = \frac{3}{4}$$

அல்லது

$$-\frac{v}{10} = \frac{3}{4}$$

$$\therefore \quad v = -7{\cdot}5 \text{ செ. மீ.}$$

வில்லை சமன்பாட்டில் இம் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{-15/2} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{10} - \frac{2}{15} = \frac{1}{f}$$

$$f = -30 \text{ செ. மீ.}$$

(4) இரு புறக் குவி வில்லையொன்றின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே 30 செ. மீ., 45 செ. மீ. ஆகும். அவ் வில்லையின் (அ) காற்றில் குவிய தூரம். (ஆ) நீரில் குவிய தூரம் ஆகியவைகளைக் கணக்கிடுக. கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 3/2 என்றும் நீரின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 4/3 என்றும் கொள்க.

(அ) காற்றில் குவிய தூரம்

காற்றில் வைக்கப்படும்பொழுது கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை மட்டுமே கருதவேண்டும்.

மென் வில்லைக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{f} = (\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$\mu_g = 3/2$$

$$R_1 = 30 \text{ செ. மீ.}$$

$$R_2 = 45 \text{ செ. மீ.}$$

$$f = ?$$

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1{\cdot}5 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{45}\right)$$

$$= 0{\cdot}5 \times \frac{1}{18} = \frac{1}{36}$$

$$\therefore \quad f = 36 \text{ செ. மீ.}$$

(ஆ) நீரில் குவிய தூரம்

வில்லை நீரினால் சூழப்பட்டுள்ளதாகக் கொண்டால், நீரைப் பொருத்த கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = ({}^{w}\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

ஆனல்

$$ {}^{w}\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w} $$

$$ \therefore \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{3/2}{4/3} - 1\right)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{45}\right) $$

$$ = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{1}{18}\right) $$

$$ = \frac{1}{8} \times \frac{1}{18} = \frac{1}{144} $$

$\therefore \quad f = 144$ செ. மீ.

விடைகளிலிருந்து நீரில் குவிய தூரம் நான்கு மடங்கு அதிகரிப்பது தெரிகின்றது.

(5) 12 செ. மீ., 20 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட இரண்டு குவி வில்லைகள் 8 செ. மீ. இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. முதல் வில்லைக்கு முன்னல் 36 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள 1 செ. மீ. நீளம் கொண்ட பொருளின் படிவம் அமையும் தொலைவையும், படிவத்தின் நீளத்தையும் கணக்கிடுக.

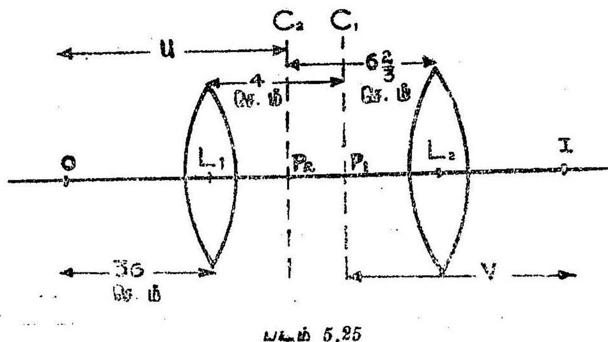
வில்லைத் தொகுப்பின் குவிய தூரம் f $\Big\} = \dfrac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$

$$ = \frac{12 \times 20}{(12+20) - 8} $$

$= 10$ செ. மீ.

வில்லைத் தொகுப்பில் தூரங்களை அளக்கும்பொழுது முதன்மைத் தளங்களிலிருந்து அளக்கவேண்டும். அதாவது u, அல்லது v அல்லது f மதிப்புக்களை முதன்மைத் தளங்களிலிருந்து அளக்க வேண்டும். கணக்கின்படி படம் 5.25-ல் அளவுகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

[குறிப்பு:—முதன்மைத்தளம் C_1P_1 முதல் வில்லைக்குப் பின்னல் முதலிலும், இரண்டாவது முதன்மைத்தளம் C_2P_2 அடுத்தும் அமையும். ஆனல் இக் கணக்கின்படி அவை மாறி உள்ளன. எந்நிலையில் அமைந்தாலும் u-வை முதல் முதன்மைத் தளத்திலிருந்தும், v-ஐ இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்திலிருந்தும் அளக்க வேண்டும்.]



படம் 5.25

$OP_1 = u$ ஆகும்.

எனவே,

L_1P_1-ஐக் கணக்கிட வேண்டும்.

$$L_1P_1 = \frac{df}{f_2}$$

$$= \frac{8 \times 10}{20} = 4 \text{ செ. மீ.}$$

$$u = 36 + 4 = 40 \text{ செ. மீ. ஆகும்.}$$

சாதாரண வில்லைச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{40} + \frac{1}{v} = \frac{1}{10}$$

$$P_2I = v = \frac{40}{3} \text{ செ. மீ.}$$

$$P_2 L_2 = \frac{df}{f_1}$$

$$= \frac{-8 \times 10}{12}$$

$$= -\frac{20}{3} \text{ செ. மீ.}$$

அதாவது இரண்டாவது வில்லையின் முன்னால் 6 $\frac{2}{3}$ செ. மீ தூரத்தில் இருக்கும்.

$$\therefore \quad L_2I = P_2I - P_2L_2$$

$$= \frac{40}{3} - \frac{20}{3}$$

$$= \frac{20}{3} \text{ செ. மீ.}$$

படிவம் இரண்டாவது வில்லைக்குப் பின்னால் $\frac{20}{3}$ செ. மீ தொலைவில் அமையும்.

உருப்பெருக்கம் $m = \frac{40/3}{40} = \frac{1}{3}$ செ. மீ. ஆகும்.

படிவத்தின் நீளம் $\frac{1}{3}$ செ. மீ. ஆக இருக்கும்.

(6) 20 செ. மீ. குவிய தூரங்கள் கொண்ட இரு குவி வில்லைகள் 5 செ. மீ. தள்ளி அமைக்கப்பட்டுள்ளன. 200 மீட்டர் தொலைவுக்கு அப்பால் அமைந்துள்ள 100 மீட்டர் உயரம் கொண்ட கோபுரம் ஒன்று அத்தொகுப்பால் பார்க்கப்படுகின்றது. படிவம் ஏற்படும் நிலையையும், படிவத்தின் அளவையும் கணக்கிடுக.

கோபுரம் முதல் வில்லைக்கு முன்னால் இருப்பதாகக் கொள்வோம். வில்லைகள் காற்றில் உள்ளமையால், தொகுப்பின் குவிய தூரம்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

கணக்கின்படி $f_1 = 20$ செ. மீ.; $f_2 = 20$ செ. மீ., $d = 5$ செ. மீ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} - \frac{5}{20 \times 20}$$

$$= \frac{7}{80}$$

அல்லது

$$f = \frac{80}{7} \text{ செ. மீ. ஆகும்.}$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{முதல் முதன்மைத்தளம் முதல்}\\ \text{வில்லையிலிருந்து அமையும் தூரம்}\end{array}\right\} = \frac{df}{f_2}$$

$$= 5 \times \frac{80}{7} \times \frac{1}{20}$$

$$= \frac{20}{7} \text{ செ.மீ. ஆகும்.}$$

அதாவது முதல் வில்லைக்குப் பின்ஞல் $\frac{20}{7}$ செ.மீ. தொலைவில் அமையும். இரண்டாவது முதன்மைத்தளம், இரண்டாவது வில்லையிலிருந்து இருக்கும் தொலைவு

$$= -\frac{df}{f_1}$$

$$= -5 \times \frac{80}{7} \times \frac{1}{20}$$

$$= -\frac{20}{7} \text{ செ. மீ. ஆகும்.}$$

அதாவது இரண்டாவது வில்லைக்கு முன்ஞல் $\frac{20}{7}$ செ. மீ. தொலைவில் இருக்கும்.

முதல் வில்லையிலிருந்து கோபுரம் 20,000 செ. மீ. தொலைவில் அமைந்துள்ளது. எனவே,

$$u = 20{,}000 + \frac{20}{7} = \frac{140020}{7} \text{ ஆகும்.}$$

ஆஞல்,

$\frac{f'}{v} + \frac{f}{u} = 1$ என்பது நமக்குத் தெரிந்த சமன்பாடாகும். [பகுதி 5.23 : சமன்பாடு] (7)

$$\text{இங்கு } f = f' = \frac{80}{7} \text{ செ.மீ.}$$

எனவே,

$$\frac{80}{7 \times v} + \frac{80}{7} \times \frac{7}{140020} = 1$$

அல்லது $v = 11.4$

எனவே படிவம் இரண்டாவது முதன்மைத் தளத்திலிருந்து 11.4 செ. மீ. தொலைவில் அமைகின்றது.

(அல்லது) இரண்டாவது வில்லைக்குப் பின்னால் அமையும் தொலைவு $\Big\} = 11.4 - \dfrac{20}{7}$

$= 8.53$ செ. மீ. ஆகும்.

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{\text{படிவத்தின் நீளம்}}{\text{பொருளின் நீளம்}} = \frac{v}{u}$$

$$\because \quad \text{படிவத்தின் நீளம்} = \frac{v}{u} \times \text{பொருளின் நீளம்}$$

$$= \frac{11.4 \times 7 \times 10{,}000}{140020}$$

$= 5.7$ செ. மீ. ஆகும்.

எனவே 5.7 செ. மீ. நீளம் கொண்ட படிவம் உண்டாகும்.

(7) 2 செ. மீ. தடிமம் கொண்ட குவி வில்லையொன்றின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே 6 செ. மீ., 8 செ. மீ., ஆகும். வில்லையின் பருப்பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் 1·5 எனில், அதன் குவிய தூரத்தையும், குவிய தளங்கள், முதன்மைத் தளங்கள் அமையும் நிலைகளையும் கணக்கிடுக.

தடிம வில்லைக்கு,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{d(\mu - 1)}{\mu R_1 R_2}\right) \text{ என்பது}$$

குவிய தூரத்திற்கான சமன்பாடாகும்.

$\mu = 1{\cdot}5$; $R_1 = 6$ செ. மீ.; $R_2 = 8$ செ.மீ.; $d = 2$ செ. மீ.

எனவே,

$$\frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{8}\right) - \frac{2(1.5 - 1)}{1.5 \times 6 \times 8}$$

$$= 0.5\left[\frac{4+3}{24} - \frac{0.5}{36}\right]$$

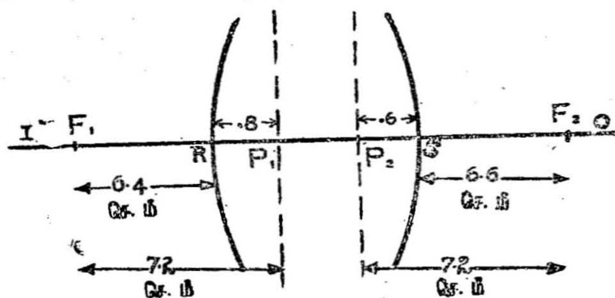
$$= 0.5\left[\frac{7}{24} - \frac{1}{72}\right]$$

$$= 0.5\left[\frac{21 - 1}{72}\right]$$

$$\frac{1}{f} = \frac{10}{72}$$

$\because \quad f = 7.2$ செ. மீ.

முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையும் இடங்கள் :



படம் 5 26.

பரப்புகள் R, S என்பவை வில்லையின் பரப்புகள் எனில், P_1, P_2 என்பவை முதன்மைப் புள்ளிகள் ஆகும். எனவே முதல் முதன்மைப்

புள்ளி அமையும் தளம் $RP_1 = -\frac{d.(1-\mu).f}{\mu R_1}$

$$= \frac{d\,(1.5-1) \times 7.2}{1.5 \times 6}$$

$$= \frac{2 \times 0.5 \times 7.2}{9}$$

$$= \frac{7.2}{9}$$

$= 0.8$ செ. மீ.

இரண்டாவது முதன்மைப் புள்ளி அமையும் தூரம் $P_2 S$

$$= \frac{d.(\mu-1).f}{\mu R_2}$$

$$= \frac{2\,(1.5-1) \times 7.2}{1.5 \times 8}$$

$$= \frac{1 \times 7.2}{12}$$

$= 0.6$ செ. மீ.

எனவே முதன்மைக் குவியங்கள் அமையும் தூரங்கள் முறையே

$RF_1 = 6.4$ செ. மீ.

$SF_2 = 6.6$ செ. மீ. ஆகும்.

(8) ஒரு குவி வில்லை பொருளொன்றின் நான்கு முறை உருப் பெருக்கமடைந்த படிவத்தினை ஏற்படுத்துகின்றது. பொருளுக்கும் திரைக்குமான தொலைவை மாற்றாமல், வில்லையை மட்டும் 30 செ.மீ. தொலைவு திரையை நோக்கி நகர்த்தினால் மற்றுமொரு படிவம் உண்டாகின்றது. இப்பொழுது ஏற்படும் உருப்பெருக்கத்தையும் வில்லையின் குவிய தூரத்தையும் கணக்கிடுக.

உருப்பெருக்கம் $m = \frac{v}{u}$

$$4 = \frac{v}{u}$$

அல்லது $v = 4u$

இம் மதிப்பை வில்லைச் சமன்பாட்டில் இட,

$$\frac{1}{4u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

இதனால் பொருளுக்கும் திரைக்குமிடைப்பட்ட தூரம்,

$u + 4u = 5u$ ஆகும்.

இரண்டாவது நிலைக்கு வில்லையை மாற்றும்பொழுது, பொருளுக்கும் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை u' எனக் கொண்டால்

$u' = u + 30$ செ. மீ. ஆகும்.

$\therefore \; v' = 4u - 30$ செ. மீ. ஆகும்.

எனவே இரண்டாவது நிலையில் வில்லைச் சமன்பாட்டை எழுத,

$$\frac{1}{4u-30} + \frac{1}{u+30} = \frac{1}{f}$$

இரண்டு சமன்பாடுகளையும் சமனாக்க,

$$\frac{1}{4u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{4u-30} + \frac{1}{u+30}$$

$$\frac{1+4}{4u} = \frac{(u+30) + (4u-30)}{(4u-30)\,(u+30)}$$

$$\frac{5}{4u} = \frac{5u}{(4u-30)\,(u+30)}$$

$$\frac{1}{4u} = \frac{u}{(4u-30)\,(u+30)}$$

$4u^2 + 120u - 30u - 900 - 4u^2 = 0$

அதாவது

$$90u = 900$$

$$u = 10 \text{ செ. மீ.}$$

சமன்பாடு (1)-ல் இம் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{1}{4 \times 10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1+4}{40} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{5}{40} = \frac{1}{f}$$

$$5f = 40$$

$$f = \frac{40}{5} = 8 \text{ செ. மீ.}$$

வில்லையின் குவிய தூரம் 8 செ. மீ. ஆகும்.

உருப்பெருக்கம் $m = \frac{v'}{u'}$

இரண்டாவது நிலையில் $v' = 4u - 30$

$= 40 - 30$

$= 10$ செ. மீ.

$u' = u + 30$

$= 10 + 30$

$= 40$ செ. மீ.

$\therefore$ உருப்பெருக்கம் $\frac{v'}{u'} = \frac{10}{40} = \frac{1}{4}$ செ. மீ. ஆகும்,

வினாக்கள்

1. மென் வில்லையொன்றில் ஒளிவிலகலுக்கான,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

என்னும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

2. இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டுள்ள இரு மென் வில்லைகளுக்கு இணைமாற்று குவிய தூரத்தைக் காணும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

3. கார்டினல் புள்ளிகள் என்றால் என்ன ?

4. முதன்மைப் புள்ளிகள், முதன்மைத் தளங்கள் என்றால் என்ன ? முதன்மைத் தளங்கள், ஓரலகு நீளப்பெருக்கம் கொடுக்கும் தளங்கள் எனக் காட்டுக.

5. குவிவில்லைத் தொகுப்பொன்றிற்கான நியூட்டனின் சமன் பாட்டைப் பெறுக.

6. இணைமாற்று வில்லை என்றால் என்ன ? எந்த முறையில் அது இணைமாற்று வில்லை எனப்படுகின்றது ?

7. குவியதூரம், வளைவு ஆரங்கள், பருப்பொருளின் ஒளிவில கல் எண் ஆகியவைகளை இணைக்கும் மென் வில்லைச் சமன் பாட்டைப் பெறுக.

8. f_1, f_2 என்னும் குவிய தூரங்களைக் கொண்ட இரு மென் வில்லைகள் d தூரம் இடைவெளி விட்டு ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அவைகளின் இணைமாற்றுக் குவியதூரம் f எனில்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$ எனக் காட்டுக.

9. நியூட்டன் முறையில், குவிவில்லைத் தொகுப்பொன்றின் குவியதூரம் காணும் முறையை விளக்குக.

10. முதன்மைப் புள்ளிகளையும், அதிர்விலாப் புள்ளிகளையும் வரையறுக்க. காற்றில் வில்லைத் தொகுப்பு வைக்கப்படும் பொழுது முதன்மைப் புள்ளிகளும், அதிர்விலாப் புள்ளிகளும் ஒன்றும் என்பதைக் காட்டுக.

11. தடிம வில்லையின் குவிய தூரத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக. முதன்மைப்புள்ளிகள், முதன்மைக் குவியங்கள் அமையும் நிலைகளைக் குறிக்கும் சமன்பாடுகளைப் பெறுக.

12. இரண்டு மென் வில்லைகள் இணைந்திருக்கும் பொழுது இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தூரத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

இதன் அடிப்படையில் திரவ வில்லையொன்றினை அமைத்து, ஒளிவிலகல் எண்ணைக் காணும் முறையைக் கொள்கையுடன் விளக்குக.

13. மென்வில்லையொன்றின் குவிய தூரத்திற்கான சமன்பாட்டை, அதன் பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்கள், அதன் ஒளிவிலகல் எண் μ_1, சூழலின் ஒளிவிலகல் எண் μ_2 ஆகியவற்றைக் கொண்டு பெறுக.

14. குவிவில்லையொன்று ஏற்படுத்தும் உண்மைப் படிவம் மூன்று முறை உருப்பெருக்கம் கொண்டதாக இருக்கும் பொழுது, பொருள் வில்லையிலிருந்து 12 செ.மீ. தொலைவில் உள்ளது. வில்லையின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக. நான்கு முறை உருப்பெருக்கம் கொண்ட உண்மைப் படிவம் ஏற்பட பொருள் வைக்கப்பட வேண்டிய நிலையைக் கணக்கிடுக.

[$f = 9$ செ.மீ ; $u = 11{\cdot}25$ செ.மீ.]

15. 30 செ.மீ. குவியதூரம் கொண்ட குவி வில்லையொன்று பொருளின் வடிவத்தைப் போன்று 3 முறை உருப்பெருக்கம் கொண்ட படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றது. வில்லையிலிருந்து பொருள், படிவம் ஆகியவை அமையும் தொலைவுகளைக் கணக்கிடுக. [40 செ.மீ; 120 செ.மீ.]

16. திரைக்கும் பொருளுக்குமிடைப்பட்ட தூரம் 2 மீட்டர் நான்கு முறை உருப்பெருக்கப்பட்ட படிவம் திரையின் மீது ஏற்படும் பொழுது குவிவில்லையொன்று அமையும் நிலையையும் அதன் குவியத் தூரத்தையும் கணக்கிடுக.

[பொருளிலிருந்து 40 செ.மீ; கு.தூ. = 32 செ.மீ.]

17. குவியதூரங்கள் முறையே 25 செ.மீ., 15 செ.மீ. கொண்ட வில்லைகள் தொலைநோக்கி ஒன்றின் கண்ணருகித் தொகுப்பாக அமைக்கப்பட்டால், 20 செ. மீ. கூட்டுக் குவிய தூரம் கொண்டு செயல்படுகின்றது. வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடவும். [22 செ.மீ]

18. இரண்டு மென் வில்லைகள் முறையே 6 செ.மீ; 8 செ.மீ. குவிய தூரங்களைக் கொண்டுள்ளன. இவற்றினைக் கொண்டு 4 செ.மீ. இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்

பட்டால் தொகுப்பின் குவிய தூரத்தையும், முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையும் நிலைகளையும் கணக்கிடுக.

[$f = \frac{24}{5}$ செ.மீ.

இரண்டாவது முதன்மைத்தளம் இரண்டாவது வில்லையிலிருந்து } $= \frac{16}{5}$ செ.மீ.

முதல் முதன்மைத்தளம் முதல் வில்லையிலிருந்து } $= \frac{12}{5}$ செ.மீ.]

19. குவிய தூரங்கள் 10 செ.மீ., 15 செ.மீ. உள்ள இரண்டு குவி வில்லைகள் ஒன்றிற்கொன்று 2 செ.மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. 10 செ. மீ. குவிய தூரம் உள்ள வில்லைக்கு முன் 12 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது என்றால், இந்த இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பால் ஏற்படும் முடிவான படிவத்தின் நிலை, நீள உருப்பெருக்கம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

முதன்மைத் தளங்கள் அமையும் இடங்களையும் கணக்கிடுக.

[$f = \frac{150}{23}$ செ.மீ.

முதல் முதன்மைத்தளம் முதல் வில்லையிலிருந்து அமையும் தூரம் } = 0·87 செ.மீ.

இரண்டாவது முதன்மைத்தளம் இரண்டாவது வில்லையிலிருந்து அமையும் தூரம் } = 1.3 செ.மீ.

m = 1·02]

20. 4 செ.மீ. தடிமமுள்ள ஒரு தடிம வில்லையின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே 6 செ.மீ., 10 செ.மீ. ஆகும். வில்லையின் குவிய தூரத்தையும், முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையும் தொலைவையும் கணக்கிடுக.

[f = 8·18 செ.மீ.

முதல் பரப்பிலிருந்து முதல் முதன்மைத்தளம் } = 1·09 செ.மீ.

இரண்டாவது பரப்பிலிருந்து இரண்டாவது முதன்மைத்தளம் } = 1.82 செ.மீ.]

6. கோளப் பிறழ்ச்சியும் அதனுடன் இணைந்த குறைபாடுகளும்

6.1. கோளப் பரப்புகளில் ஒளி எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் ஆகியவைகளைப் பற்றிப் படிக்கும்பொழுது, அவற்றின்மீது விழும் கதிர்கள் அச்சிற்கு இணையாகவும், மிக அருகிலும் விழுவதாக எடுத்துக் கொண்டோம். [அதாவது மிகவும் குறுகிய பரப்பில் அச்சிற்கு வெகு அருகில் விழுவதாகக் கொண்டோம்]. மிக அதிகமான திறப்பு (Aperture) கொண்டதொரு கோளப் பரப்பின் மீது அகண்ட ஒளிக்கற்றை ஒன்று விழுமேயானால், நாம் இதுவரை பயன்படுத்திய சமன்பாடுகள் பொருந்தா. மேலும் உண்டாகும் படிவங்கள் சில குறைபாடுகளுக்கு உள்ளாகின்றன. கோளப் பிறழ்ச்சி (Spherical aberration), கோமா (Coma), அஸ்டிக்மேட்டிஸம் (Astigmatism), படிவ வளைவு (Curvature), உருக்குலைவு (Distortion) ஆகியவை அக் குறைபாடுகளாகும். ஒற்றை நிற ஒளி (Monochromatic light) பயன்படுவதாகக் கொள்வதினால் இவை பிம்பங்களின் ஒற்றைநிற ஒளிக் குறை பாடுகள் (Monochromatic defects) எனப்படும்.

6.2. குழிஆடியில் கோளப் பிறழ்ச்சி :

குழிஆடியொன்றின் முக்கியப் பகுதி APB என்றும், C அதனுடைய வளைவுமையம் என்றும், PC அதன் அச்சு என்றும் கொள்வோம். (படம் 6.1).

அச்சின்மீது அமைந்துள்ள ஒரு பொருள் O-வைக் கருதுவோம். பொருள் O-விலிருந்து ஆடியின்மீது விழும் OD என்னும் அச்சருகு ஒளிக்கதிர், DE என்னும் திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இக் கதிர் அச்சை I-யில் வெட்டுகின்றது.

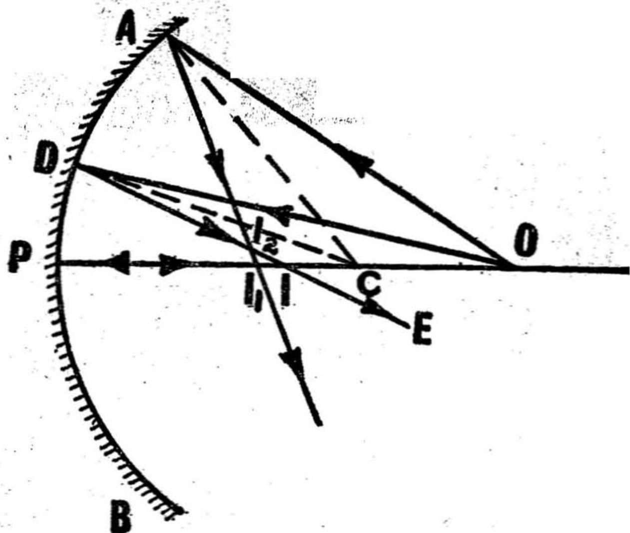
6. கோளப் பிறழ்ச்சியும் அதனுடன் இணைந்த குறைபாடுகளும்

6.1. கோளப் பரப்புகளில் ஒளி எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் ஆகியவைகளைப் பற்றிப் படிக்கும்பொழுது, அவற்றின்மீது விழும் கதிர்கள் அச்சிற்கு இணையாகவும், மிக அருகிலும் விழுவதாக எடுத்துக் கொண்டோம். [அதாவது மிகவும் குறுகிய பரப்பில் அச்சிற்கு வெகு அருகில் விழுவதாகக் கொண்டோம்]. மிக அதிகமான திறப்பு (Aperture) கொண்டதொரு கோளப் பரப்பின் மீது அகண்ட ஒளிக்கற்றை ஒன்று விழுமேயானால், நாம் இதுவரை பயன்படுத்திய சமன்பாடுகள் பொருந்தா. மேலும் உண்டாகும் படிவங்கள் சில குறைபாடுகளுக்கு உள்ளாகின்றன. கோளப் பிறழ்ச்சி (Spherical aberration), கோமா (Coma), அஸ்டிக்மேட்டிஸம் (Astigmatism), படிவ வளைவு (Curvature), உருக்குலைவு (Distortion) ஆகியவை அக் குறைபாடுகளாகும். ஒற்றை நிற ஒளி (Monochromatic light) பயன்படுவதாகக் கொள்வதினால் இவை பிம்பங்களின் ஒற்றைநிற ஒளிக் குறை பாடுகள் (Monochromatic defects) எனப்படும்.

6.2. குழிஆடியில் கோளப் பிறழ்ச்சி :

குழிஆடியொன்றின் முக்கியப் பகுதி APB என்றும், C அதனுடைய வளைவுமையம் என்றும், PC அதன் அச்சு என்றும் கொள்வோம். (படம் 6.1).

அச்சின்மீது அமைந்துள்ள ஒரு பொருள் O-வைக் கருதுவோம். பொருள் O-விலிருந்து ஆடியின்மீது விழும் OD என்னும் அச்சருகு ஒளிக்கதிர், DE என்னும் திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இக் கதிர் அச்சை I-யில் வெட்டுகின்றது.



படம் 6.1. ஆடியில் கோளப் பிறழ்ச்சி

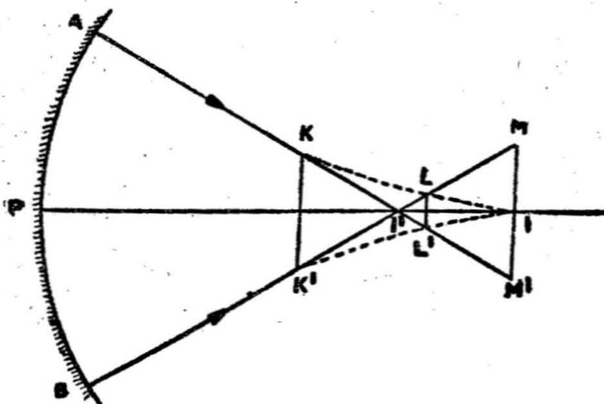
எனவே I-யில் O-வின் படிவம் உண்டாகின்றது. மேலும்,

$$\angle ODC = \angle CDE \text{ ஆகும்.}$$

மாருக எல்லேக்கதிர் OA-வைக் கருதினுல், அது ஆடியின் விளிம்பில் உள்ள புள்ளி A-யில் பட்டு, $\angle OAC = \angle CAI$, இருக்கு மாறு எதிரொளிப்பு அடைந்து அச்சை I_1-ல் சந்திக்கின்றது. இப்பொழுது I_1, I-யைவிட ஆடிமையம் P-க்கு அருகில் அமை கின்றது. O-விலிருந்து விரிந்துசென்று A-க்கும், D-க்கும் இடை யில் விழும் கதிர்கள் உண்டாக்கும் படிவங்கள் I-க்கும், I_1-க்கும் இடையில் அச்சின்மீது அமையும்.

ஒரு புள்ளியில் படிவம் ஏற்படக் குறைந்தது இரண்டு எதி ரொளிப்புக் கதிர்கள் அப் புள்ளியில் சந்திக்க வேண்டும். படத்தில் படிவம் உண்டாகுமிடத்தைக் காண அச்சருகு கதிர் OD, ஒரக்கதிர் OA இவைகளுடன் படிவம் ஏற்படத் தேவையான இரண்டாவது கதிராக அச்சின் திசையிலேயே ஆடியின்மீது விழுந்து, அதே திசையில் திருப்பப்படும் PO என்னும் கதிரைக் கருதுகிருேம். அதாவது, O-விலிருந்து அச்சின் வழியாகச் சென்று விழும் கதிர், அதன் வழியாகவே திருப்பி அனுப்பப்படுகின்றது. இவ்வாறு இல்லாமல், புள்ளிகள் A, D இவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப் படும் கதிர்களைக் கருதினுல், அவை அச்சை அடைவதற்கு முன்பே

I_2-வில் வெட்டிக்கொள்கின்றன (படம் 6.1). இவ்வாறு பல கோடி (Pair) கதிர்களைக் கருதும்பொழுது, அவை வெட்டிக்கொள்ளும் புள்ளிகள் எல்லாம் ஒரு வளைகோட்டின்மீது அமையும். அவ் வளைகோடு காஸ்டிக் வளைகோடு (Caustic curve) எனப்படும். இந்த வளைகோட்டின் வளைவிடம் (Cusp) I-யாகும். எதிரொளிக்கப் படும் எல்லாக் கதிர்களும் இந்த வளைகோட்டினைச் சந்திக்கின்றன. வரைவு APB-ஐ, அச்சு PC-யினைப்பற்றிச் சுழற்றினால் ஒரு கோள எதிரொளிக்கும் பரப்பையும், காஸ்டிக் வரைகோடு, காஸ்டிக் புறப் பரப்பையும் உண்டாக்குகின்றன. மேலும் O-விலிருந்து சம கோணங்களில் விரிந்து பரவும் எல்லாக் கதிர்களும், எதிரொளிப் பிற்குப் பின்னர் அச்சுடன் அதே அளவு கோணங்களை ஏற்படுத்துவ துடன் ஒரே புள்ளி வழியாகவும் செல்கின்றன. இதனால் அச்சின் மீது II_1 என்னும் பொலிவுமிக்க வரிபடிவம் அமையும். படம் 6.2-ல் $AI' = BI'$ என்பவை எல்லைக் கதிர்கள்.



படம் 6.2.

இவை அச்சை I'-ல் வெட்டிக்கொள்கின்றன. மேலும் படத் தில் KI, $K'I$ என்பவை காஸ்டிக் வரைகோடுகள். இவைகளின் வளைவிடம், அச்சினைக் கதிர்களுக்கான படிவம் ஏற்படும் புள்ளி I ஆகும்.

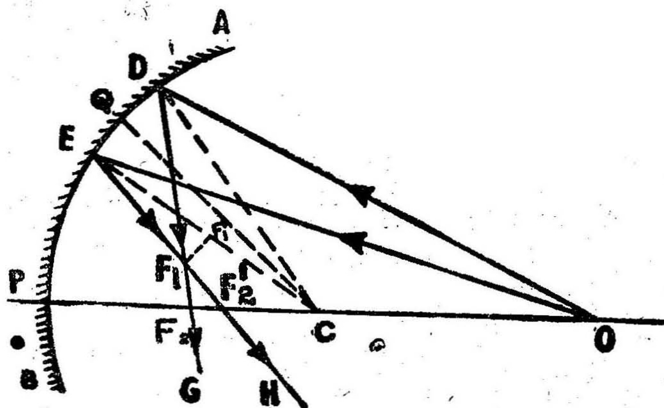
பொருளின் படிவத்தைக் காண அச்சிற்குச் செங்குத்தாக ஒரு திரையை வைத்து நகர்த்தினால், எந்த இடத்திலும் பொலிவான, தெளிவுமிக்க படிவம் கிடைக்காது. திரையை KK' என்னுமிடத்தில் வைத்தால் விளிம்பு பாகம் பொலிவுமிக்கதாக உள்ளதொரு படிவம் கிடைக்கும். ஆடியில் இருந்து திரையின் தூரத்தை அதிகமாக்கிக் கொண்டே சென்றால் படிவத்தின் வட்ட உரு குறைந்துகொண்டே

வரும். LL' என்னுமிடத்தில் குறைந்த அளவுகொண்ட, தெளிவு மிக்க சீரான ஒளியூட்டம் கொண்டதொரு வட்டம் கிடைக்கும். மேலும் தூரத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே சென்றால் வட்டத்தின் உருவம் பெரிதாகி MM' என்னுமிடத்தை அடையும்பொழுது பொலிவுமிக்க மையத்துடன் கூடியதாக அமையும்.

LL' என்னுமிடத்தில் அமையும் வட்ட உரு "தெளிவு வட்டம்" (Circle of least Confusion) எனப்படும். இது பொருளினுடைய தெளிவான படிவத்திற்கான தோராய இடமாகும். படத்தில் II' நீளக்கோளப் பிறழ்ச்சி (Longitudinal aberration) அல்லது அச்சுக் கோளப் பிறழ்ச்சியின் அளவைக் கொடுக்கின்றது. தெளிவு வட்டத்தின் ஆரக் குறுக்களவு குறுக்குக் கோளப் பிறழ்ச்சிக்கான (Transverse spherical aberration) மதிப்பைக் கொடுக்கின்றது.

6.3. குழிஆடி எதிரொளிப்பில் ஏற்படும் அஸ்டிக்மேட்டிசம் :

படம் 6.3-ல் AB என்பது குழிஆடிப் பரப்பு எனக்கொள்வோம். அச்சின்மீது அமைந்துள்ள புள்ளி ஒளிமூலம் O-விலிருந்து ஆடியின் விளிம்பில் விழும் கதிர்கள் OD, OE ஆகியவற்றைக் கருதுவோம். இந்த இரண்டு கதிர்களும் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர், அச்சைக் கடப்பதற்குமுன்பே F_1 என்னும் புள்ளியில் வெட்டிக்கொள்கின்றன. அவைகள் அச்சைமுறையே F_2, F_2' என்னுமிடங்களில் வெட்டிக் கொள்ளட்டும்.



படம் 6.3. ஆடியில் ஏற்படும் அஸ்டிக்மேட்டிஸம்

அச்சு PO-வைப்பற்றி ஆடிப் பரப்பை சிறிய கோண அளவு கழலும் படிச் செய்தால், DE ஒரு கோளப்பரப்பை வரையும். ஒளிக்கதிர்கள்

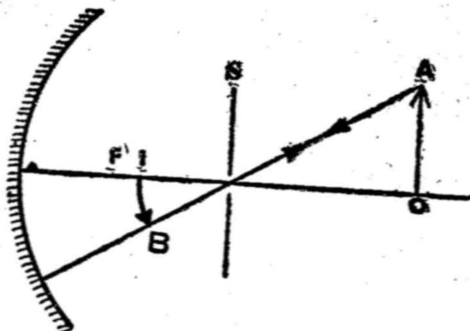
பொருள் O-விலிருந்து விரிந்து சென்று DE வரைந்த கோளப் பரப்பின்மீது படுவதால், ODE என்பது பொருள் வெளியில் அமையும் கூம்புக் கற்றையை (Pencil of light) குறிக்கும். எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் அடங்கிய $EDGH$, படிவ வெளியில் அமையும் கூம்பு ஒளிக்கற்றையைக் குறிக்கும். படம் 6.3-ல் புள்ளிகள் D, E இவற்றில் எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்கள் F_1-ல் வெட்டிக்கொள்கின்றன. இதேபோன்று ஆடியின் DE பகுதியில் எவ்விரு புள்ளிகளில் எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களானாலும் அவை F_1F_1' என்னும் கோட்டின்மீது வெட்டிக்கொள்ளும். F_1F_1' தாளின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக இருக்கும். மேலும் எதிரொளிக்கப்பட்ட எல்லாக் கதிர்களும் இந்தக் கோட்டின் வழியாகத்தான் செல்லும். எனவே இதற்கு முதல் குவியக்கோடு (First focal line) என்று பெயர். மேலும் அந்த கூம்புக் கற்றையில் உள்ள எல்லாக் கதிர்களும் F_2F_2' வழியாகவும் செல்கின்றன. எனவே F_2F_2' இரண்டாவது குவியக்கோடு (Second focal line) எனப்படும். F_1F_1' என்னும் கோடு அமையும் தளமும் F_2F_2' கோடு அமையும் தளமும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தானவை. எனவே F_1, F_2 இரண்டுக்குமிடையில் ஏதாவது ஒரு நிலையில் கூம்புக் கதிரானது இரண்டு திசைகளிலும் சம அகலம் கொண்டதாக இருக்கும். எனவே கிடைக்கும் உருவம் ஏற்றேறக்குறைய ஒரு வட்டமாக இருக்கும். இந்த வட்டம் "தெளிவு வட்டம்" எனப்படும்.

இங்கு DE என்னும் பகுதிக்கு CQ முக்கிய அச்சாகும். ODE என்னும் வெளியில் (Space) அமையும் கதிர்கள் கோண படுகற்றை (Oblique incident beam) ஆகும். இதற்கான எதிரொளிப்புக் கற்றை அஸ்டிக்மேட்டிக் கூம்புக் கற்றை எனப்படும். இக் கூம்புக் கற்றை ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்திற்கு, ஒரு புள்ளிப் படிவத்தை உண்டாக்குவதில்லை. எனவே படும் கதிர்கள் கோணக் கூம்புக் கற்றை (Oblique incident pencil) எனில் எதிரொளிக்கப்படும் கூம்புக்கற்றை, அஸ்டிக்மேட்டிக் கூம்புக்கற்றை எனப்படும். அஸ்டிக்மேட்டிக் என்றால், "ஒரு புள்ளியில் அமையாத" என்று பொருளாகும்.

எனவே, படும் கற்றை அகலமானதாக இருந்தால் கோளப் பிறழ்ச்சி உண்டாகும். அகலமான படுகற்றையாக இருப்பதால், கோணக் கூம்புக்கற்றை (Oblique beam) யாகவும் இருக்குமாதலால், அஸ்டிக்மேட்டிஸமும் உண்டாகும். அதாவது கோளப் பிறழ்ச்சி இருக்குமிடங்களிலெல்லாம் அஸ்டிக் மேட்டிஸமும் இருக்கும்.

6.4. குழிஆடியில் ஏற்படும் படிவ வளைவும், உருகுலைவும் :

ஒரு தடுப்பை (Stop) ஆடியின் வளைவு மையத்தில் வைத்து கோளப் பிறழ்ச்சி, அஸ்டிக்மேட்டிஸம் இவைகளைக் குறைப்பது வழக்கம். இதனால் படம் 6.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி பொருள்



படம் 6.4.

OA-விலிருந்து வரும் கதிர்களைத் தடுப்பு S-ஐக் கொண்டு ஆடியின் மீது குத்தாகப் படும்படிச் செய்யலாம். இவ்வமைப்பினால் மேற் கண்ட கோளப் பிறழ்ச்சி, அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம் ஆகிய இரு குறைபாடுகளும் பெரிதும் குறைக்கப்படும். பொருளின் உச்சிப் புள்ளி A, அடிப் புள்ளி O-வைவிட ஆடிப்பரப்பில் இருந்து அதிக தூரத்தில் உள்ளது. எனவே, A-யின் படிவமான B, O-வின் படிவமான I-ஐ விட ஆடிக்கு அருகில் அமையும். எனவே IB வளைவாகத் தோன்றும். அதாவது படிவம் வளைவு குறைபாடு (Curvature) அடைகின்றது.

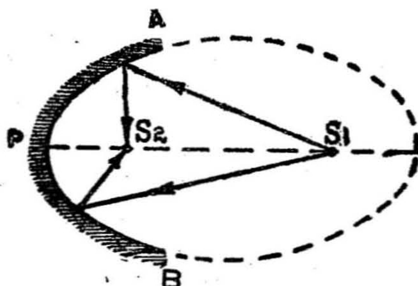
மேலும் ஏற்படும் உருப்பெருக்கம் புள்ளிக்குப் புள்ளி மாறுபட்டிருக்கும். ஏனெனில் படிவ தூரத்திற்கும், பொருள் தூரத்திற்கும் இடைப்பட்ட விகிதம் மாறிக்கொண்டே உள்ளது. என்வே படிவம் உருக்குலைவையும் (Distortion) அடைகின்றது.

ஒரு குழி ஆடியில் ஏற்படும் நான்கு குறைபாடுகளான, கோளப் பிறழ்ச்சி, அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம், படிவ வளைவு, உருக் குலைவு ஆகியவற்றில் முதல் இரண்டைத் தடுப்புக்கொண்டு நீக்கினால் அடுத்த இரண்டும் தோன்றும்.

6.5 நீள்வட்டப் புறப்பரப்பும், பரவளையப்பரப்பும் கொண்ட ஆடிகள்

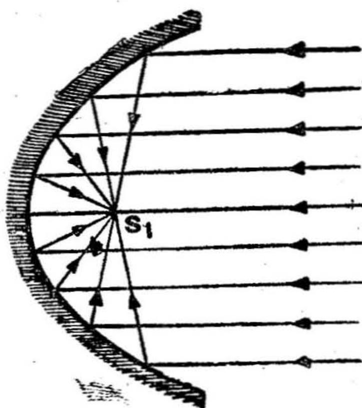
நீள்வட்டமொன்றின் குவியங்களான S_1, S_2 இவற்றை இணைக்கும் கோட்டை அச்சாகக் கொண்டு சுழற்றப்பட்டால் ஒரு நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்பு (Spheroid of revolution) கிடைக்கும்.

நீள்வட்டச் சுழற்சிப் பரப்பில் ஒரு பகுதியான APB எதிரொளிப்பதாகச் செய்யப்பட்டால், அதன் ஒரு குவியமான S_1-ல் வைக்கப்படும் பொருளிலிருந்து செல்லும் கதிர்கள் எதிரொளிப்பிற்குப்



படம் 6.5.

பின்னர் S_2-வில் குவியும். இவ்வாறு உண்டாகும் படிவம், எந்த விதக் குறைபாடும் இல்லாமல் உண்டாகின்றது. இப்பொழுது குவியங்கள் S_1, S_2 இரண்டும் அப்ளநாட்டிக் குவியங்கள் (Aplanatic foci) என்றும் ஆடிப்பரப்பு அப்ளநாட்டிக் பரப்பு (Aplanatic surface) என்றும் சொல்லப்படும். ஒளிமிக்க பொருள் அமைந்துள்ள புள்ளியை ஒரு குவியமாகக்கொண்ட நீள்வட்டப் பரப்பு, அப்புள்ளியிலிருந்து பரவும் கூம்பு ஒளிக்கற்றைக்கு அப்ளநாட்டிக் பரப்பு ஆகும். ஒரு பரவளையத்தை நீள்வட்டமெனக் கருதலாம். அப்பொழுது அதனுடைய ஒரு குவியம் S_1 என்றும், மாற்றுக் குவியம் அநந்தத்தில் (At infinity) உள்ளது என்றும் கொள்ள வேண்டும். எனவே பரவளையத்தை அதன் அச்சைப்பற்றிச் சுழற்றினால் கிடைக்கும் பரப்பு ஒரு பரவளையப் பரப்பு (Paraboloid) ஆகும்.



படம் 6.6.

இப் பரப்பின்மீது அதன் அச்சிற்கு இணையாகப் படும் கதிர்கள் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அச்சின்மீதுள்ள குவியம் S_1-ல் எந்த விதமான பிறழ்ச்சியும் இல்லாமல் குவிகின்றன (படம் 6.6). மாறாக S_1-ல் வைக்கப்படும் ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்திலிருந்து செல்லும் கதிர்கள் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் அச்சிணைக் கற்றையாக அமைந்து வெளியேறுகின்றன.

6.6. வில்லைகளில் ஏற்படும் பிறழ்ச்சிகள்

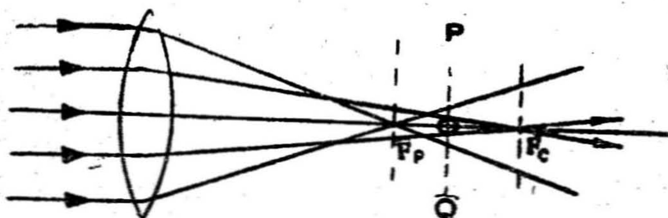
வில்லைகளில் படிவங்கள் உண்டாதலைக் கருதும்பொழுது அச்சு நெருக்கக் கதிர்களை மட்டுமே எடுத்துக் கொண்டோம். ஆனால் நடைமுறையில் ஒரு வில்லையானது ஒரு பொருளினுடைய தெளிவான, உருப்பெருக்கப்பட்ட, பொலிவான படிவத்தைக் கொடுக்க வேண்டும். இது போன்ற படிவத்தைப் பெற பொருளிலிருந்து அதிகப்படியான கதிர்கள் வில்லையின் மீது படும்படிச் செய்யவேண்டும். அல்லது விரிகோணத்தில் பரவும் கூம்புக் கற்றையில் அமையும் கதிர்களை, மிகுந்த பார்வைப்புலம் உண்டாகுமாறு அனுப்ப வேண்டும். அதாவது, அச்சு நெருக்கக் கதிர்களை மட்டுமேயல்லாது பொருளிலிருந்து சென்று வில்லைகளின் விளிம்புகளில் விழும் கதிர்களையும் கருதவேண்டும். மேலும் நீளப் பொருளானால், பொருளின் பின்பாகம், கீழ்ப்பாகம் இவைகளிலிருந்து வில்லைகளின் விளிம்புகளில் விழும் கதிர்களையும் கருதவேண்டும்.

எனவே, முன்புகண்ட விதிகளுக்குட்படாத பலவிதமான கதிர்கள் பொருள்களிலிருந்து விலகலை ஏற்படுத்தும் பரப்பின்மீது விழுகின்றன. இப்படிப்பட்ட கதிர்கள் படிவத்தில் குறைபாடுகளை உண்டாக்குகின்றன. இக் குறைபாடுகளைப் பிறழ்ச்சிகள் என்கிறோம். இப்பகுதியில் வில்லைகளின் விளிம்புகளிலோ அல்லது விரிகோணங்களில் படும் கதிர்களோ ஏற்படுத்தும் ஒற்றை நிறப் பிறழ்ச்சிகளைப் பற்றி பார்ப்போம். வில்லைகள் ஏற்படுத்தும் படிவங்களில் கோளப்பிறழ்ச்சி, கோமா, அஸ்டிக்மேட்டிஸம், வளைவு குறைபாடு உருக்குலைவு ஆகிய ஒற்றைநிறப் பிறழ்ச்சிகள் உண்டாகின்றன.

6. 7. கோளப் பிறழ்ச்சி

திறப்பு (Aperture) அதிகம் கொண்ட குவிவில்லை ஒன்றின் அச்சின் மீது தொலைவில் அமைந்துள்ள பொருளிலிருந்துபடும் இணை ஒளிக்கற்றையொன்றைக் கருதுவோம். அச்சிற்கு நெருக்கமாகப் படும் கதிர்கள் படம் 6-7-ல் காட்டியுள்ளபடி F_Cயின் மூலம் செல்கின்றன.

வில்லையின் விளிம்பில் விழும் கதிர்கள் F_P என்னும் புள்ளியின் வழியாகச் செல்கின்றன. அதாவது, வில்லையைப் பல மண்டலங்களாகப் (Zones) பிரித்தால், விளிம்பில் அமையும் மண்டலத்தில் விலகல்



படம் 6.7. வில்லையில் கோளப் பிறழ்ச்சி

அடையும் கதிர்களுக்கான குவியம் வில்லைக்கு அருகில் இருக்கும். ஒரு வில்லையைப் பல பட்டகங்களினால் ஆன தொகுப்பு எனக் கொள்ளலாமாதலால், வில்லையின் மையத்திலுள்ள பகுதிகளுக்கான பட்டகங்களின் ஒளிவிலகல் கோணங்களின் மதிப்புகள் குறைவு. எனவே உண்டாகும் திசைமாற்றம் குறைவு. விளிம்புப் பகுதிகளில் ஒளிவிலகல் உண்டாக்கும் கோணங்களின் மதிப்புகள் அதிகம். எனவே ஏற்படும் திசைமாற்றம் மிகுதி. புள்ளி ஒளி மூலத்தின் படிவம் ஒரு புள்ளியாக இல்லாமல், அச்சின்மேல் அமையும் ஒரு நீளப் படிவமாக உள்ளது. எனவே ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் மையக் கதிர்களும் விளிம்புக் கதிர்களும் ஒரு புள்ளியில் குவியாமல் உண்டாக்கும் படிவம் கோளப்பிறழ்ச்சி (Spherical aberration) என்னும் குறைபாடு கொண்டது எனப்படுகின்றது. F_C, F_P இவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தூரம், நீளக்கோளப் பிறழ்ச்சிக்கான மதிப்பைக் கொடுக்கின்றது.

ஒரே மண்டலத்தில் விலகல் அடையும் கதிர்கள் ஒரே புள்ளியில் சந்திக்கின்றன என்பதும், மற்ற மண்டலங்களிலிருந்து வரும் கதிர்கள் சந்திக்கும் புள்ளிகள் வேறுபட்டவை என்பதும் கவனிக்கத்தக்கது. இப்பொழுது அச்சிற்குக் குத்தாக F_P-யில் ஒரு திரையை வைத்தால் மையத்தில் பொலிவு மிக்க புள்ளியுடன் கூடிய ஒரு ஒளிவட்டம் கிடைக்கின்றது. F_C-யில் வைத்தால் விளிம்புகள் பொலிவானதும், மையத்தில் பொலிவற்றதுமான ஒரு வட்டம் கிடைக்கும். இந்த இரண்டு நிலைகளுக்கிடையில் வெவ்வேறு நிலைகளில் திரையில் ஏற்படும் படிவத்தைக் கவனித்தால் PQ என்னும் நிலையில் முழுவதும் சீரான ஒளியூட்டம் கொண்ட ஒரு வட்டம் கிடைக்கும். இந்த நிலைதான் படிவத்தின் தோராய நிலையாகும். இங்கு உண்டாகும் பொலிவு வட்டம், "தெளிவு வட்டம்"

எனப்படும். இந்தத் தெளிவு வட்டத்தின் ஆரம், குறுக்குக் கோளப் பிறழ்ச்சிக்கான மதிப்பைக் கொடுக்கின்றது. ஒரு குவி வில்லையின் கோளப்பிறழ்ச்சி நேர்க்குறி கொண்டது. குழிவில்லையின் கோளப் பிறழ்ச்சி எதிர்க் குறியைக் கொண்டது.

6. 8. கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கும் வழிகள்

முன்பகுதியிலிருந்து கோளப் பிறழ்ச்சியைப் போக்க, மையக் கதிர்களையும், விளிம்புக் கதிர்களையும் ஒரே புள்ளியில் குவியுமாறு செய்யலாம் என்பது தெளிவு. அல்லது இந்த இரண்டு வகைக் கதிர்களுக்கும் குவிய தூரம் சமமாக அமையும்படிச் செய்யலாம். ஆனல் இரண்டையும் ஒரே நேரத்தில் செய்ய இயலாது. எனவே கீழ்க்கண்ட வகைகளில் கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கலாம்.

(அ) ஒரு தடுப்பைப் பயன்படுத்திக் குறைத்தல்

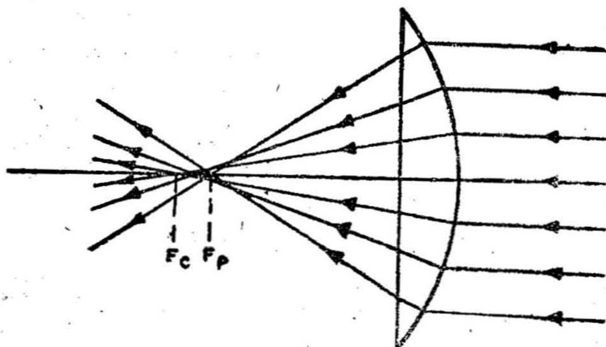
ஒரு தடுப்பைப் (Stop) பயன்படுத்தி, வில்லையின் மீது விழும் விளிம்புக் கதிர்கள் அல்லது மையக் கதிர்களின் அளவைக் குறைக்கலாம். இதனல் அச்சின் மீதுள்ள பொருள் ஒன்றிலிருந்து வில்லையில் விலகல் அடைந்து குவியும் கதிர்கள் சற்றேறக்குறைய ஒரு புள்ளியில் குவியுமாறு செய்யலாம். ஆனல், கதிர்களின் அளவைக் குறைப்பதனல் வில்லையின் செயலுரு பரப்பு குறைக்கப்படும். மேலும் படிவத்தின் பொலிவு குன்றுவதுடன், பல பாகங்களின் விளக்கங்கள் தெளிவுபட அமையாது.

(ஆ) இரட்டைக் குவி, அல்லது இரட்டைக் குழி வில்லையைப் பயன்படுத்திக் குறைத்தல்

கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்குவதற்கெனச் செய்யப்பட்ட இரு பக்கக் குவி அல்லது குழி வில்லைகளைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கலாம். இதற்கு வில்லை செய்யப்பட்டுள்ள பருப்பொருளின் (Material) ஒளிவிலகல் எண் μ எனவும் வில்லையின் இரு பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்கள் R_1, R_2 எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\mu(2\mu+1)}{2\mu^2-\mu-4}$$ என்னும் நிபந்தனை சரி செய்யப்படவேண்டும். உதாரணமாக பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் 1·5 எனக் கொண்டால் வளைவு ஆரங்களின் விகிதங்கள் $R_1 : R_2 = 1 : 6$ என்றும், அதிக வளைவைக் கொண்ட பகுதி படுகதிர்களை நோக்கியும் இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு ஒரு குறிப்பிட்ட வளைவு

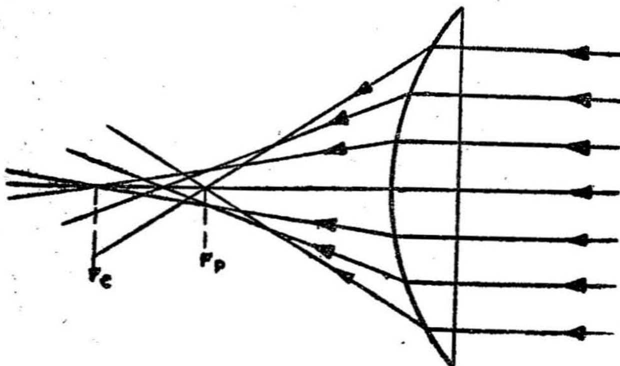
ஆரவிகிதங்களுடன் செய்யப்பட்டு கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கும் வில்லைக்கு "நீக்கிய வில்லை" (Crossed lens) என்று பெயர்.



படம் 6.8.

படம் 6.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஒரு மட்டக் குவி வில்லை அதனுடைய வளைபரப்புப் படுகதிர்களை நோக்கி இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டால், ஒரு நல்ல நீக்கி வில்லையாகச் செயல்படும். பெரும்பாலும் கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்க இதுபோன்ற வில்லைகள் தான் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதனால் இரு புறங்களிலும் கதிர்கள் அடையும் திசைமாற்றங்கள் சமமாக உள்ளன.

இவ்வாறு உபயோகிக்காமல் படம் 6.9-ல் உள்ளவாறு உபயோகப்படுத்தினால் முதல் தட்டையான பரப்பில் எவ்வித திசை



படம் 6.9.

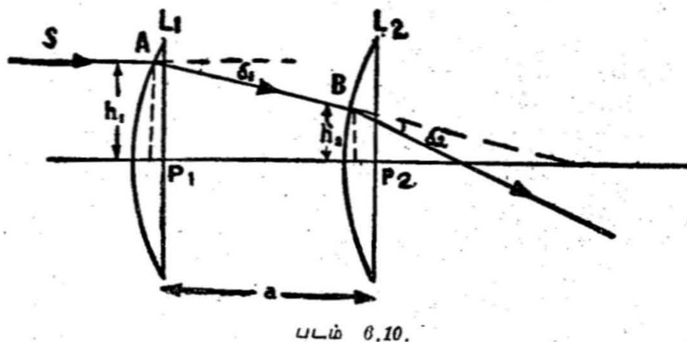
மாற்றமும் அடைவதில்லை. அடையும் திசைமாற்றம் முழுமையும் இரண்டாவது வளைபரப்பில் ஏற்படுவதனால் அதிக அளவு கோளப்

பிறழ்ச்சி ஏற்படும். இதனுல் முன்போன்ற அமைப்பைவிட 5 அல்லது 6 மடங்கு அதிகமான பிறழ்ச்சி ஏற்படும். ஒளிவிலகல் எண் 1·68 உள்ள பொருளைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட நீக்கிய மட்டக் குவி வில்லை, படம் 6.8-ல் உள்ள அமைப்பைப்போல் பயன் படுத்திஞல் நல்லதொரு கோளப்பிறழ்ச்சி நீக்கியாகப் பயன்படும்.

(இ) இரண்டு குவி வில்லைகள் கொண்டு கோளப்பிறழ்ச்சியை நீக்கல்.

இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்ட இரு மட்டக் குவி வில்லை கள் பயன்படுத்தப்பட்டால், ஒளிவிலகல் நான்கு பரப்புகளில் ஏற்படும். எனவே கோளப்பிறழ்ச்சியைப் பெரிதும் நீக்கலாம். ஒளிவிலகல் அடையும்போது, இரண்டு வில்லைகளும் ஏற்படுத்தும் திசை மாற்றங்களின் மதிப்புகள் சமமாக இருந்தால் மிகவும் பயனுள்ளதாக அமையும்.

மட்டக்குவி வில்லைகள் L_1, L_2 இரண்டும் படம் 6.10-ல் காட்டப் பட்டுள்ளவாறு ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 6.10.

அவைகளின் குவிய தூரங்கள் முறையே f_1, f_2 என்றும், அவை களுக்கிடைப்பட்டதூரம் a என்றும் கொள்வோம். முதல் வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம் δ_1 எனக்கொண்டால்

$$\delta_1 = \frac{h_1}{f_1} \tag{1}$$

படத்தில் h_1 என்பது P_1A ஆகும். இரண்டாவது வில்லை ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம் δ_2 எனில்

$$\delta_2 = \frac{h_2}{f_2} \tag{2}$$

h_2 என்பது P_2B ஆகும்.

எனவே,

$$h_2 = P_2B = h_1 - a\,\delta_1$$

$$\therefore \quad \delta_2 = \frac{h_2}{f_2} = \frac{h_1}{f_2} - a.\frac{\delta_1}{f_2}$$

$$\delta_2 = \frac{h_1}{f_2} - \frac{a.h_1}{f_1 f_2} \qquad (3)$$

ஆனால் குறைந்த அளவு கோளப் பிறழ்ச்சிகொண்டிருக்க,

$$\delta_1 = \delta_2$$

ஆக இருக்கவேண்டும்.

எனவே,

$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{h_1}{f_2} - \frac{a\,h_1}{f_1 f_2}$$

அதாவது,

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2}$$

$$\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = -\frac{a}{f_1 f_2}$$

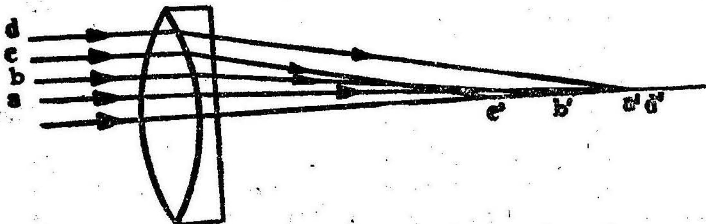
அல்லது,

$$f_1 - f_2 = a$$

எனவே வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம், அவைகளின் குவிய தூரங்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். இடைவெளி $f_1 - f_2$ எப்பொழுதும் நேர்க்குறியைக் கொண்டதாகையால் f_1, f_2-வைவிடப் பெரியதாக இருக்கவேணடும்.

(ஈ) குழி, குவி வில்லைகளின் இணைப்பு:

குவி வில்லைக்குப் பிறழ்ச்சி நேர்க்குறியுடனும், குழிவில்லைக்கு எதிர்க்குறியுடனும் இருப்பதால், படம் 6.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது



படம் 6.11.

போன்றதொரு இரட்டையைக்கொண்டு கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்கலாம்.

அச்சிலிருந்து சமதூரத்தில் அமைந்துள்ள புள்ளிகள் எல்லாம் முழு வட்ட அமைப்பைக் கொடுக்கும். அந்த வட்டம் ஒரு மண்டலம் (Zone) எனப்படும்.

இந்த அமைப்பினுல் அச்சு நெருக்கக் கதிர்கள் குவியும் புள்ளியுடன், அச்சிலிருந்து குறிப்பிட்ட தூரத்திலுள்ள ஏதாவது ஒரு மண்டலத்தில் விலகல் அடையும் கதிர்களை மட்டுமே குவிக்க இயலும். அதாவது இந்த இரண்டு மண்டலங்களிலிருந்து வரும் கதிர்களையும் ஒரே புள்ளியில் குவியும்படிச் செய்யலாம். உதாரணத்திற்கு படம் 6.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி, அச்சு நெருக்கக் கதிர்களையும், விளிம்பில் அமைந்துள்ள மண்டலத்தில் இருந்து வரும் கதிர்களையும் ஒரு புள்ளியில் குவியுமாறு செய்யலாம். அதாவது கதிர்கள் a, d இரண்டும் ஒரே புள்ளியில் குவிகின்றன. ஆனுல் இடைப்பட்ட மண்டலங்களில் இருந்துவரும் b, c போன்ற கதிர்கள் அதே புள்ளியில் குவிவதில்லை. எனவே இடைப்பட்ட மண்டலங்களில் ஏற்படும் பிறழ்ச்சியை முழுமையாக நீக்க இயலாது. இந்தக் காரணத்தால், வில்லையின் செயல்படு பரப்பை (Aperture) ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குமேல் அதிகப்படுத்த இயலாது.

(உ) ஒரு அப்ளநாட்டிக் வில்லையைப் பயன்படுத்துதல் :

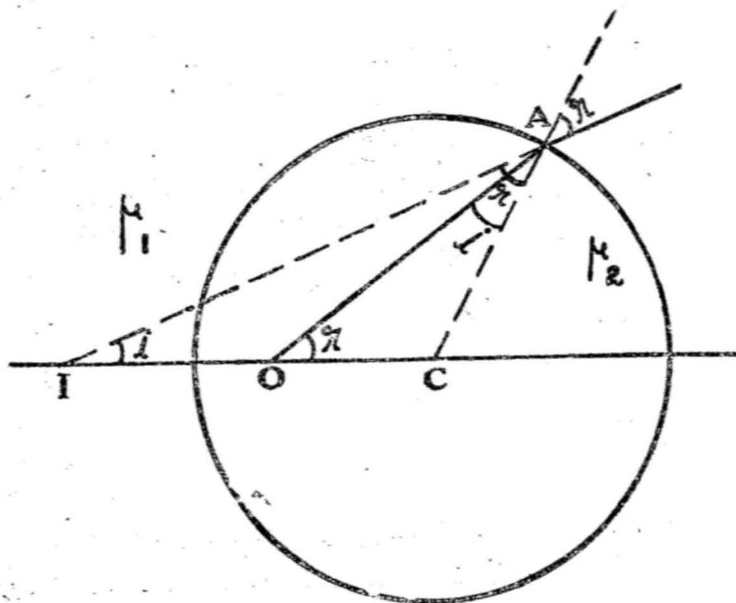
கோளப் பிறழ்ச்சியை, பொருளும், படிவமும் உண்மையானவைகளாக இருக்கின்றவரை முழுமையாக நீக்க இயலாது. ஆனுல் பொருளோ அல்லது படிவமோ மாயமானதாக இருந்தால், குறிப்பிட்ட பொருள், படிவ நிலைகளுக்கு பிறழ்ச்சியற்றதொரு கோள வில்லையை அமைக்க முடியும். இவ்வாறு அமைக்கப்படும் வில்லை அப்ளநாட்டிக் வில்லை என்றும், பொருள், படிவ புள்ளிகள் அப்ள நாட்டிக் புள்ளிகள் என்றும் கூறப்படும். இவ் வில்லை மேலும் ஒரு குறைபாடான "வால் நட்சத்திரக் குறைபாட்டை (Comatic defect) யும் நீக்கப் பயன்படுகின்றது. இக் குறைபாட்டைக் குறித்து அடுத்த பகுதியில் பார்ப்போம்.

அப்ளநாட்டிஸம் ;

ஒளிவிலகல் அல்லது எதிரொளிப்பு மூலம் பொருளின் சரியான படிவத்தை உண்டாக்குவதற்கு ஒளியியல் கருவி ஒன்றைப் பயன்படுத்துகின்றோம். ஆனுல் ஏற்படும் படிவம் நிறப் பிரிகையினுல் உண்டாகும் குறைபாடுகளை விட்டு, ஒற்றைநிறக் கதிர்களால் ஏற்படும் பல குறைபாடுகளால் [கோளப் பிறழ்ச்சி, கோமா

அஸ்டிக்மேட்டிஸம், வளைவு குறைபாடு, உருக்குலைவு போன்றவை கள்] பாதிக்கப்படுகின்றது. புள்ளிப் பொருளொன்றுக்கான புள்ளிப் படிவத்தை, கோளப் பிறழ்ச்சி, கோமா ஆகிய குறை பாடுகள் இல்லாததாக உண்டாக்க இயலும். இவ்வாறு படிவம் உண்டாகும்பொழுது பொருள் அமையும் புள்ளி, படிவம் அமையும் புள்ளி இரண்டும் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள் எனப்படும். பொருளின் குறையிலாப் படிவத்தை உண்டாக்கும் பரப்பு, அப்ளநாட்டிக் பரப்பு [Aplanatic surface] எனப்படும். ஒளி எதிரொளிப்பிற்கான அப்ள நாட்டிக் பரப்புகள் பற்றி ஆடிகளில் கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்கும் தலைப்பின்கீழ் படித்துள்ளோம். இப் பகுதியில் ஒளிவிலகல் ஏற்படும் பொழுது அமையும் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகளையும், பரப்புகளையும் காணும் முறைபற்றிப் பார்க்கலாம்.

ஒளி ஊடுருவும் கோளமொன்றைக் (Sphere) கருதுவோம். அதனுடைய ஒளிவிலகல் எண் μ_2 என்றும், ஆரம் R என்றும் கொள்வோம். இதனுள் புள்ளிப்பொருள் O வைக்கப்பட்டுள்ளது என்றும் கொள்வோம் (படம் 6.12).



படம் 6.12. அப்ளநாட்டிக் பரப்பும், புள்ளிகளும்

ஒளிவிலகல் எண் μ_1 மதிப்பு கொண்ட பொருளால் கோளம் சூழப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். மேலும் $\mu_2 > \mu_1$ என்றும் கொள்வோம்.

I தான் O-வின் படிவம் எனவும், மேலும் புள்ளி O கோளத்தினுள்,

$$\frac{CA}{CO} = \frac{CI}{CA} \qquad (1)$$

என்னும் சமன்பாட்டைச் சரிசெய்யுமாறும் அமைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம்.

இந்த நிபந்தனையின்கீழ், முக்கோணங்கள் OAC-யும் IAC-யும் ஒத்த முக்கோணங்கள்,

எனவே,

$$\angle IAC = \angle AOC = \angle r$$

இப்பொழுது முக்கோணம் OAC-யில்,

$$\frac{OC}{CA} = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

அல்லது,

$$OC = CA.\ \frac{\mu_1}{\mu_2} = R.\ \frac{\mu_1}{\mu_2} \qquad (2)$$

மேலும் முக்கோணம் IAC-யில்,

$$\frac{IC}{CA} = \frac{\text{Sin } r}{\text{Sin } i}$$

$$= \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

அல்லது,

$$IC = R.\ \frac{\mu_2}{\mu_1} \qquad (3)$$

எனவே,

$$\frac{IC}{OC} = \frac{\mu_2^2}{\mu_1^2} \qquad (4)$$

சமன்பாடு (4) கோண உருப் பெருக்கத்தைக் கொடுக்கின்றது.

சமன்பாடுகள் (2), (3) ஆகியவை, படுகோணம் i, அல்லது விடுகோணம் r இவைகளைப் பொறுத்தவை அல்ல.

இதனால்,

$$OC = R.\ \frac{\mu_1}{\mu_2} \text{ அல்லது } IC = R.\ \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

என்ற நிபந்தனைகள் சரிசெய்யப்பட்டால், O-விலிருந்து புறப்பட்டுச் செல்கின்ற எந்த விடுகதிரையானாலும், I-யில் குவியும். இந்நிலையில், புள்ளிகள் O-வும், I-ம் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள் எனப்படும். எனவே O-விலிருந்து விரிந்துசெல்லும் எல்லாக் கதிர்களும் I-யில் இருந்து வருவதுபோலத் தோன்றும். ஆகவே, பொருள் புள்ளி O, படிவப் புள்ளி I இவைகளுக்கு எந்தவிதமான கோளப் பிறழ்ச்சியும் ஏற்படாது.

மேலும் சூழ்ந்துள்ள ஊடகம் காற்று எனில், $\mu_1 = 1$ ஆகும். எனவே, $\mu_2 = \mu$ என்று கொண்டால்,

$$OC = \frac{R}{\mu}\ ;\ IC = \mu R \text{ என ஆகும்.}$$

எனவே μ ஒளிவிலகல் எண்கொண்ட ஊடகமொன்றில் அதே ஒளிவிலகல் எண்கொண்ட கோள வில்லையின் வளைவுமையத்திலிருந்து, $\frac{R}{\mu}$ தூரத்தில் பொருள் வைக்கப்பட்டிருந்தால், வில்லையின் வளைவுமையத்திலிருந்து $R\mu$ தூரத்தில் படிவம் உண்டாகும். இப்பொழுது பொருள் படிவப் புள்ளிகள், பரிமாற்று புள்ளிகள் ஆகும். நீண்ட பொருளானாலும், புள்ளிக்குப் புள்ளி சரியான படிவம் உண்டாவதால் கோளப் பிறழ்ச்சி இல்லாமல் உண்டாகும். மேலும் எல்லாப் புள்ளிகளுக்குமான உருப்பெருக்கம் சமமாக இருக்கும்.

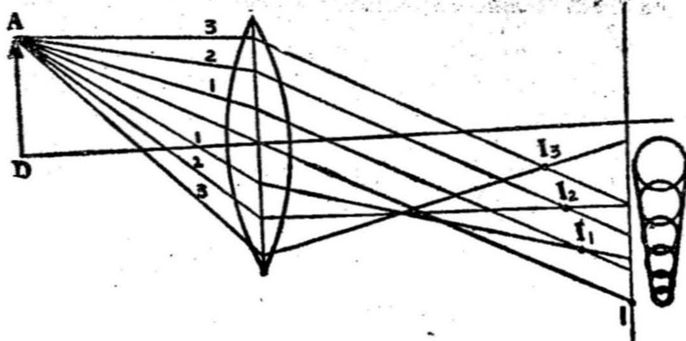
எனவே அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகளில் ஒன்றில் வைக்கப்படும் பொருளுக்கான படிவம் மற்ற புள்ளியில் ஏற்படுகின்றது. இத்தத்துவத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு பகுதி 9.6-ல் படிக்கவிருக்கும் அபேயின் எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லை அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இப் பொருளருகு வில்லை கொண்டு அமைக்கப்படும் கூட்டு நுண்ணோக்கி, திறன் மிக்கதென்பதையும் காணலாம்.

6.9 கோமா

வில்லைக்கு அதிகப் பரப்பு இருப்பதினால் உண்டாகும் மற்றொரு படிவக்குறைபாடு கோமா (Coma) எனப்படும். அச்சிலிருந்து பொருள் விலகி அமைந்திருக்கும்பொழுது இக் குறைபாடு ஏற்படுகின்றது.

படம் 6 13 ல் OA என்னும் பொருளின் புள்ளி A வில்லையின் அச்சிலிருந்து விலகி அமைந்துள்ளது. A-யிலிருந்து புறப்பட்டுச் செல்லும் அச்சு நெருக்கக் கதிர்கள் (Paraxial rays) I-ல் படிவத்தை உண்டாக்கும். வில்லையினை பல மண்டலங்களாகப் பிரித்து, (1, 1) எனக்குறிப்பிட்டுள்ள கதிர்கள் ஒரு மண்டலத்திலும்,

(2,2) என்னும் கதிர்கள் மற்றுமொரு மண்டலத்திலும், (3,3) என்னும் கதிர்கள் அடுத்ததொரு மண்டலத்திலும் விலகல் அடை



படம் 6.13. கோமா குறைபாடு

வதாகக் கொள்ளலாம். ஒரே மண்டலத்தின் மேல்பாகத்திலும், கீழ்பாகத்திலும் விலகல் அடைந்து செல்லும் கதிர்கள் (1,1) புள்ளி I_1-ல் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றன. இதேபோன்று அம் மண்டலத்தின் வெவ்வேறு புள்ளிகளிலிருந்து வரும் கதிர்கள் எல்லாம் ஒரே புள்ளியில் குவிவதற்கு பதில் ஒரு சிறுவட்டத்தின் பரிதியின் மேல் வெட்டிக் கொள்கின்றன. அச்சு நெருக்கக் கதிர்களினுல் உண்டாக்கப்படும் சிறுவட்டப் படிவம் முழுவதும் சீரான பொலிவுடன் இருக்கின்றது. மற்ற, மண்டலங்களில் இருந்து வரும் கதிர்களினுல், அதிக ஆரம் கொண்ட வட்ட படிவங்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அச்சு நெருக்கத்தில் உள்ள மண்டலக் கதிர்களுக்குப் பொலிவுப் பெற்ற சிறுவட்டமும், விளிம்பு மண்டலக் கதிர்களுக்குப் பொலிவு குறைந்த மிகப் பெரியவட்டமுமாக உண்டாகின்றன. இந்த வட்டங்கள் ஒன்றின்மேல் ஒன்ருக உள்ளன. இதனுல் படம் 6.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு ஒரு வால் நட்சத்திரம்போல், I-ல் பொலிவுடனும், மேலே செல்லச் செல்லப் பெரியனவாகவும் பொலிவற்றும் உள்ளன. வில்லேயின் பல மண்டலங்களில் ஒளிவிலகல் அடையும் கதிர்கள் ஏற்படுத்தும் பக்க உருப்பெருக்கங்கள் (Lateral magnifications) சமமில்லாமையால் இக் குறைபாடு ஏற்படுகின்றது.

கோமா குறைபாட்டை நீக்க வில்லேயின் எல்லா மண்டிலங்களும் சம அளவு பக்க உருப்பெருக்கத்தை உண்டாக்குமாறு அமைக்கப்படவேண்டும். இதற்கு அத்தியாயம் 4-ல் கண்ட அபேயின் சைன் நிபந்தனேயான,

$\mu_1 \ y_1 \ \text{Sin} \ \theta_1 = \mu_2 \ y_2 \ \text{Sin} \ \theta_2$ என்னும் சமன்பாடு சரி செய்யப்படவேண்டும்.

$$\text{பக்க உருப்பெருக்கம் } \frac{y_2}{y_1} = \frac{\mu_1 \operatorname{Sin} \theta_1}{\mu_2 \operatorname{Sin} \theta_2}$$

மாறிலியாக இருக்கவேண்டும். வில்லையின் இரு பக்கங்களிலும் அமையும் ஊடகம் காற்றாக இருந்தால்,

$$\frac{\operatorname{Sin} \theta_1}{\operatorname{Sin} \theta_2} = \text{மாறிலி, என்னும் நிபந்தனை அமையும்.}$$

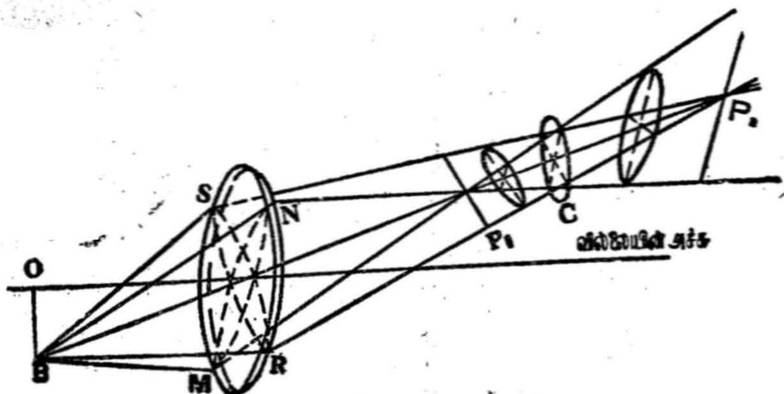
எனவே இந்தக் குறைபாட்டை நீக்க, எல்லா மண்டலங்களுக்கும் சமஅளவு பக்க உருப்பெருக்கத்தை உண்டாக்கும் வில்லையைப் பயன்படுத்தல் வேண்டும். அப்ளநாட்டிக் வில்லை சமபக்க உருப்பெருக்கத்தை உண்டாக்கக் கூடியது. எனவே அப்ளநாட்டிக் வில்லையினால் கோளப்பிறழ்ச்சி, கோமா இரண்டையும் நீக்கி விடலாம். கோமாவை ஓரளவுக்கு தடுப்புகளைப் (Stops பயன்படுத்துவதன்மூலம் குறைக்கலாம். கோமா குறைபாடு, கோளப்பிறழ்ச்சியிலிருந்து கீழ்க்கண்ட முறைகளில் வேறுபட்டது.

1. கோளப்பிறழ்ச்சியை நீளத்தில் அளக்கின்றோம்; கோமாவைப் பக்கவாட்டில் அளக்கின்றோம். அதாவது தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது கோமா.

2. கோளப்பிறழ்ச்சியில் உண்டாகும் வட்டங்கள் ஓரச்சைக் கொண்டவை. கோமாவில் உண்டாகும் வட்டங்கள் வால்நட்சத்திரம் போன்ற அமைப்பைக் கொண்டவை.

6. 0. அஸ்டிக்மேட்டிஸம்

கோமாவைப் போலவே அஸ்டிக்மேட்டிஸமும் வில்லையின் அச்சிலிருந்து பொருள் தள்ளி அமைந்துள்ளதால் ஏற்படும் பிறழ்ச்சியாகும். கோமாவில் படிவம் அச்சிற்குக் குத்தான திசையில் விரிந்து (Spread) அமைகின்றது. அஸ்டிக்மேட்டிஸத்தில்



படம் 6,14. வில்லையில் ஏற்படும் அஸ்டிக்மேட்டிஸம்

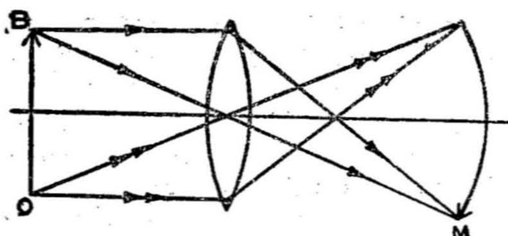
அச்சின் திசையிலேயே விரிந்து அமையும். படம் 6.14ல்-ல் வில்லை யின் அச்சிலிருந்து தள்ளி அமைந்துள்ள புள்ளி B-யினுடைய படிவத்தில் ஏற்படும் அஸ்டிக்மேட்டிஸம் விளக்கப்பட்டுள்ளது. புள்ளி B-யிலிருந்து விரிந்து செல்லும் இரண்டு கூம்பு ஒளிக் கற்றைகள் கருதப்பட்டுள்ளன. ஒரு கூம்புக்கற்றையான BMN, குத்துத் தளத்தில் பட்டு விலகலுக்குப் பின்னர் P_1 என்னும் புள்ளி யில் வில்லைக்கு அருகில் குவிகின்றது. சாகிட்டல் தளம் (Sagittal plane) RS-ல் படும் BRS என்னும் கூம்புக்கற்றை ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் வில்லையிலிருந்து தொலைவில் அமைந்துள்ள P_2 என்னும் புள்ளியில் குவிகின்றது. விலகலடையும் எல்லாக் கதிர்களும் முதன்மைப்படிவம் அமையும் P_1-ன் வழியாகச் செல்லும் கிடை நிலைக்கோட்டின் வழியாகவும், இரண்டாம் நிலைப்படிவம் அமையும் P_2- வின் மூலம் செல்லும் குத்துக்கோட்டின் வழியாகவும் செல்கின் றன. இதனால் ஒளிவிலகல் அடைந்த ஒளிக்கற்றையின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு ஒரு நீள் வட்டமாக இருக்கும். இந்தக் குறுக்கு வெட்டு P_1-ல் கிடைக்கோடாகவும், P_2-வில் குத்துக் கோடாகவும் அமைகின்றது. P_1-க்கும், P_2க்கும் இடையே திரையொன்றை நகர்த்திக் கொண்டே வந்தால் ஏற்படும் படிவங்களின் அமைப்பு படம் 6.14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இருக்கும். குறிப்பிட்டதொரு புள்ளி C-யில் இருக்கும் படிவத்தின் குறுக்கு வெட்டு சீராக ஒளி யூட்டப்பட்டுள்ள முழுவட்டமாக உள்ளது. இந்த வட்டம் தெளிவு வட்டம் எனப்படும். இந்நிலையை B-யினுடைய தெளிவான படிவம் தோன்றும் இடமெனக் கொள்ளலாம். P_1-க்கும் P_2-க்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு " அஸ்டிக்மேட்டிக் தொலைவு " எனப்படும்.

இக் குறைபாட்டையும், வளைவுக்குறைபாட்டையும் ஒரே மாதிரியான அமைப்புகளால் நீக்கலாம். எனவே வளைவுக் குறை பாட்டைப் பற்றிப் பார்த்த பின்னர், இவ்விரு குறைபாடுகளையும் நீக்கும் முறைகளைப் பற்றிப் படிக்கலாம்.

6. 11. வளைவு குறைபாடு (Curvature)

தனிவில்லையொன்றினால் தோற்றுவிக்கப்படும் நீளமான தட்டைப் பொருளினுடைய படிவமானது, வளை தளமொன்றில் அமைவதாக உள்ளது (படம் 6. 15).

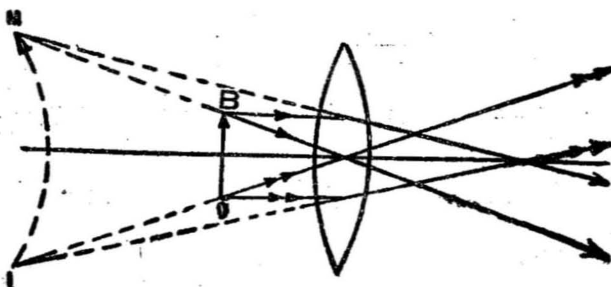
அச்சிற்கு வெகு அருகில் அமையும் பொருள்களின் படிவங்களின் வெளிப்பாகங்கள் மங்கலாக், தெளிவில்லாமல் உள்ளன. இந்த வகையான குறைபாடு, படிவத்தின் வளைவு குறைபாடு (Curvature of the image) எனப்படும். நீளப் பொருளெனில் அச்சிலிருந்து தூரத்தில் அமையும் புள்ளிகள் வில்லையிலிருந்தும் தள்ளி அமை கின்றன. எனவே குவிவில்லை ஒன்றில் உண்மைப்படிவம் உண்



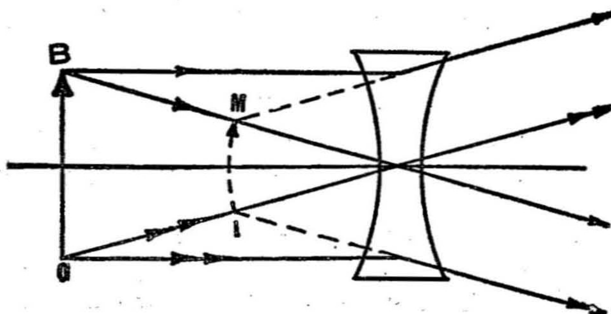
படம் 6.15. வளைவு குறைபாடு

டாகும்பொழுது, அச்சிலிருந்து தொலைவில் அமைந்துள்ள பொருளின் பகுதிக்கான படிவம், வில்லையிலிருந்து குறைந்த தூரத்தில் உண்டாகின்றது. அச்சிற்கு அருகாமையில் உள்ள பொருளின் பகுதிக்கான படிவம் வில்லையிலிருந்து அதிக தூரத்திலும் ஏற்படுகின்றது. இதனால் நீளப் பொருளினுடைய படிவம் பார்வைப் புலத்தில் வளைந்து தோன்றுகின்றது.

ஒரு தனிக்குவி வில்லையில் உண்மைப் படிவம் தோன்றும்பொழுது ஏற்படும் வளைவுக்குறைபாடு படம் 6.15-லும் மாயப் படிவம் உண்டாகும் பொழுது ஏற்படும் வளைவுக் குறைபாடு படம் 6.16 லும், குழிவில்லையில் ஏற்படும் படிவத்தின் வளைவுக் குறைபாடு படம் 6.17-லும்காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 6.16.



படம் 6.17

படிவங்களின் அமைப்புகளிலிருந்து குவிவில்லையொன்று தோற்று விக்கும் படிவம் வில்லையை நோக்கி வளைகின்றதென்பதும், குழி வில்லை தோற்றுவிக்கும் படிவம் வில்லையிலிருந்து வெளிப்பக்கம் நோக்கி வளைகின்றதென்பதும் அறியப்படுகின்றது. எனவே இக் குறைபாட்டை நீக்குவதற்கு குவி, குழி வில்லைகளின் சரியான தொகுப்பொன்று உதவும் எனத் தெளியலாம்.

6. 12. வளைவு குறைபாட்டை நீக்கல்

(அ) மெல்லிய வில்லைகளின் தொகுப்பொன்றில் இறுதிப் படி வத்திற்கு உண்டாகும் வளைவு குறைபாடு

$$\frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{\mu_n f_n}$$

என்று காட்டலாம்.

சமன்பாட்டில் R என்பது இறுதிப் படிவத்தின் வளைவு ஆரம். μ_n இறுதி வில்லையின்விலகல் எண், f_n இறுதி வில்லையின் குவியதூரம் ஆகும். இறுதிப் படிவம் வளைவில்லால் ஒரு தளப் படிவமாக இருக்க,

$$\frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{\mu_n f_n} = O$$

இச் சமன்பாட்டின்படி, காற்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள இரு வில்லை களுக்கான நிபந்தனை,

$$\frac{1}{\mu_1 f_1} + \frac{1}{\mu_2 f_2} = O$$

என்று ஆகின்றது.

அதாவது,

$$\mu_1 f_1 + \mu_2 f_2 = O \quad (1)$$

என்று ஆகின்றது.

இந்தச் சமன்பாடு "பெட்ஸ்வால்" (Petzval) நிபந்தனை எனப் படும். இங்கு μ_1, μ_2 என்பவை முறையே வில்லைகளின் விலகல் எண்களையும், f_1, f_2 முறையே வில்லைகளின் குவிய தூரங்களையும் குறிக்கும். இந்த நிபந்தனை வில்லைகள் ஒன்றை ஒன்று ஒட்டி இருந்தாலும், இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டிருந்தாலும் பொருந்தும். எனவே, வெவ்வேறு வகைப் பருப்பொருள்களால் செய்யப்பட்டுள்ள குழி, குவி வில்லைகளைக் கொண்டு வளைவு குறை பாட்டை நீக்கலாம்.

இவ்வாறுன தொகுப்பை அமைக்கும்பொழுது குவிவில்லையின் குவிய தூரம் f_1 எனில், குழி வில்லைக்கான குவிய தூரம் f_2 f_1-ஐ விடப் பெரியதாக இருக்க வேண்டும். இதனுல் சமன்பாடு(1)ஐச் சரி செய்ய μ_2, μ_1-ஐவிடக் குறைவான மதிப்பைக் கொண்டதாக இருத்தல் வேண்டும். இதற்காக தனிப்பட்ட வகையான கண்ணுடிகள் உண்டாக்கப்பட்டன. எனவே பெட்ஸ்வால் நிபந்தனை சரிசெய்யம்படும்படி செய்யப்பட்ட இரட்டைகள் வளைவு குறைபாட்டை முழுவதுமாக நீக்குகின்றன. அதே நேரத்தில் அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம் பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது. மேற்குறிப்பிட்ட முறையில் அமைக்கப்படும் பட வில்லைகள் "அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம் நீக்கிய வில்லைகள்" (Anastigmat) எனப்படும்.

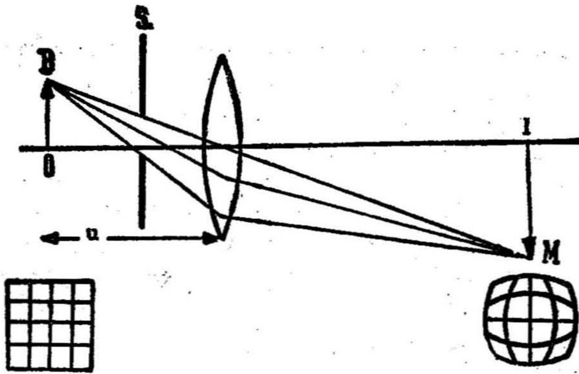
(ஆ) ஒரே பருப்பொருளால் ஆன கண்ணுடி கொண்டு அமைக்கப்பட்ட குவி, குழி வில்லைகள் கொண்ட தொகுப்பாலும் சரி செய்யலாம். அவைகள் இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். மேலும் இடைப்பட்ட தூரம், அவ்வில்லைகளின் குறைந்த குவிய தூரமுள்ளதன் குவிய தூரத்தைவிட குறைவாக இருக்க வேண்டும். இப்படிப்பட்ட தொகுப்பானது குவி வில்லையைப் போன்று செயல்படுவதுடன், அஸ்ட்டிக் மேட்டிஸம், வளைவு குறைபாடு ஆகிய குறைபாடுகளை நீக்கும் முறையில் அமைகின்றது.

(இ) தடுப்புகள் (Stops) பயன்படுத்தியும் பெருமளவுக்கு இந்தக் குறைபாட்டை நீக்கலாம். வில்லையின் அச்சின் மீது சரியான தூரத்தில் தடுப்பு வைக்கப்பட வேண்டும். தடுப்பின் நிலையை சரி செய்து, வில்லையின் மீது விழும் கதிர்களைச் சரி செய்து, முதன்மைப் படிவத்தளமும், (Principal image surface), இரண்டாவது படிவத்தளமும், சமமான ஆனுல் எதிர் எதிர் வளைவுகளைக் கொள்ளுமாறு செய்யலாம். "தெளிவுப் படிவப் பரப்பு (Surface of least confusion) இவை இரண்டிற்கும் இடையில் அமையுமாகையால், படிவம் தட்டையாக்கப்படும். ஆனுல் பார்வைப் புலத்தின் வெளிப் பாகங்களில் "அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம்" அதிகமாகும்.

6.13 உருக்குலைவு (Distortion)

பொருளின் பல பாகங்களும் வில்லையினுடைய அச்சிலிருந்து வெவ்வேறு தொலைவில் அமைகின்றன. இப்படி வேறுபட்ட தொலைவுகளில் அமையும் பாகங்களை, வேறுபட்ட அளவுகளுக்கு வில்லையானது உருப்பெருக்கம் செய்வதினுல், படிவத்தில், "உருக்குலைவு" ஏற்படுகின்றது.

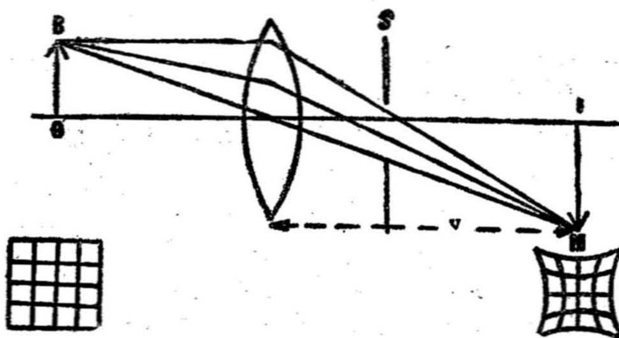
பொருளிலிருந்து வரும் கூம்புக்கற்றைகளைக் குறைப்பதற்கு தடுப்புகள் பயன்படுத்தப்படும்பொழுது படிவம் உருக்குலைவு அடைகின்றது. வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடையில் தடுப்பு வைக்கப்பட்டிருந்தால் வில்லைக்கு அருகில் தடுப்பு இருக்கும் பொழுது பொலிவானபடிவம் கிடைக்காது. தடுப்பைப் பொருளை நோக்கி நகர்த்தினுல் படிவத்திற்குப் பொலிவு உண்டாகும்; ஆனுல் படிவம் உருக்குலைந்து தோன்றும். படம் 6.18-ல் உள்ளதுபோன்று தடுப்பு S அமைக்கப்பட்டால், பொருள் OB-யிலிருந்து வரும் கதிர்கள் வில்லையின் அடிப்பாகத்தின் வழியாக மட்டுமே செல்ல இயலும்.



படம் 6.18. படிவ உருக்குலைவு

இதனுல் வில்லைக்கும் பொருளுக்குமான தூரம் u அதிகமாகின்றது. எனவே உருப்பெருக்கம் $m = \frac{f}{u-f}$ குறைகின்றது. இதனுல் படிவத்தின் விளிம்புகள் உள்நோக்கி வளைந்து பீப்பாய் போன்ற ஒரு தோற்றத்தைக் கொடுக்கும். இவ்வகைக் குறைபாடு, "பீப்பாய் உருக்குலைவு" (Barrel distortion) எனப்படும்.

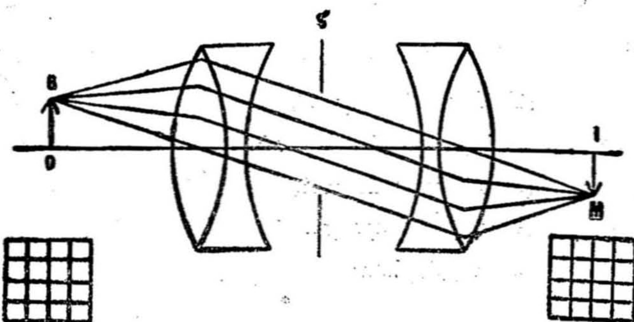
மாருக படம் 6.19-ல் காட்டியுள்ளவாறு தடுப்பை வில்லைக்கும், படிவம் தோன்றும் திரைக்கும் இடையில் வைத்தால், பொருள் OB-யிலிருந்து வரும் கதிர்கள் வில்லையின் மேல் பகுதி மூலம் மட்டுமே செல்கின்றன. இதனுல் v-ன் மதிப்பு அதிகமாகின்றது.



படம் 6.19.

எனவே உருப்பெருக்கம் $m = \frac{v-f}{f}$-ன் மதிப்பு அதிகமாகின்றது. ஆகவே படிவத்தின் விளிம்புப் பக்கங்கள் வெளிநோக்கி அமைகின்றன. படிவம் இவ்வாறு அமையும்பொழுது "குண்டூசி மெத்தை உருக்குலைவு" (Pin-cushicn distortion) ஏற்படுகின்றது.

இக் குறைபாட்டை நீக்க, ஒரே தன்மையான இரண்டு வில்லைகளினால் ஆன தொகுப்பின் மையத்தில், படம் 6.19 ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒரு தடுப்பை வைத்தால் முதல் வில்லையினால் உண்டாக்கப்படும் 'குண்டூசி மெத்தை உருக்குலைவு' இரண்டாவது வில்லையினால் உண்டாக்கப்படும் "பீப்பாய் உருக்குலைவுக்கு" சமனாகி தெளிவான, பொருளினை ஒத்த படிவம் கிடைக்கும்.



படம் 6.20.

வீழ்த்தி வில்லைகளும் (Projection lenses) ஒளிப்படவியல் வில்லைகளும் இந்த முறையில் அமைக்கப்படுகின்றன.

வினாக்கள்

1. ஆடிகளிலும், வில்லைகளிலும் ஏற்படும் கோளப் பிறழ்ச்சிகளைப்பற்றி எழுதுக.

   ஒளியியல் தொகுப்பொன்றில் இக் குறைபாட்டை நீக்கும் முறைகளை விளக்குக.

2. இரண்டு வில்லைகளைக்கொண்டு அமைக்கப்படும் தொகுப்பு கோளப் பிறழ்ச்சி அற்றதாக அமைய அவைகளின் குவிய தூரங்கள் முறையே $f_1 . f_2$ என்றும், இடைப்பட்ட தூரம் 'd' என்றும் கொண்டால், $d = f_1 - f_2$ எனக் காட்டுக.

3. ஒரு குவி வில்லையில் ஏற்படும் கோளப் பிறழ்ச்சியை விளக்கவும். தனி வில்லையில் இக் குறைபாட்டை நீக்கப் பயன்படுத்தும் முறைகளை விளக்குக.

4. மட்டக்குவி வில்லையொன்றில் ஏற்படும் பிறழ்ச்சியைக் குறித்துக் குறிப்பு வரைக.

5. அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள், அப்ளநாட்டிக் பரப்புகள் ஆகியவற்றை விளக்கவும்.

   ஒளிவிலகல் கோளப் பரப்பொன்று, குறிப்பிட்ட பொருள் படிவ நிலைகளுக்கு, அப்ளநாட்டிக் பரப்பாக இருக்குமெனக் காட்டுக.

   இத் தத்துவத்தின் செயல்முறை முக்கியத்துவத்தை விளக்குக.

6. குறிப்பு வரைக :

   (1) கோளப் பிறழ்ச்சி,

   (2) அஸ்ட்டிக்மேட்டிஸம்,

   (3) அப்ளநாட்டிஸம்,

   (4) வளைவுக் குறைபாடு

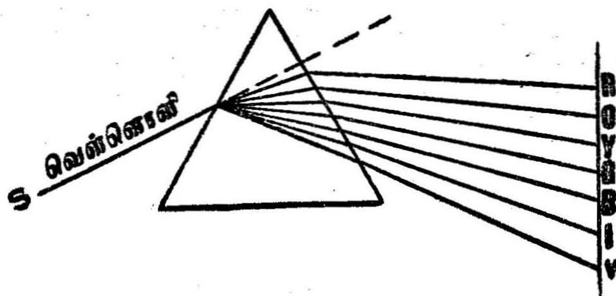
   (5) உருக்குலைவு

7. நிறப்பிரிகையும், நிறப்பிறழ்ச்சியும்

7.1. பட்டகங்களும், வில்லைகளும் படிவங்களை உண்டாக்குதலைப்பற்றி படிக்கும்போது ஒற்றைநிற ஒளி பயன்படுவதாகக் கொண்டோம். வில்லை அல்லது பட்டகமொன்றின் மீது வெள்ளை நிற ஒளி படும்பொழுது அதன் திசை மாற்றப்படுவதுடன், நிறப்பிரிகையும் அடைகின்றது. வில்லை அல்லது பட்டகம் ஏற்படுத்தும், வெண்ணிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட பொருளொன்றினுடைய படிவம், பல நிறங்களைக் கொண்டிருக்கும். இதனுல் படிவம் நிறப்பிறழ்ச்சி (Chromatic aberration) என்னும் குறைபாட்டால் பாதிக்கப் படுகின்றது. இக் குறைபாடு படிவங்களிலிருந்து நீக்கப்படுதல் வேண்டும். இதற்கு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கம் (Achromatism) என்று பெயர். ஒரு வில்லையைப் பல பட்டகங்களின் இணைப்பு எனக் கருதலாம். எனவே பட்டகங்களில் ஏற்படும் நிறப்பிறழ்ச்சி பற்றி முதலில் ஆராய்வோம்.

7.2. பட்டகத்தில் நிறப்பிரிகை :

வெள்ளொளிக் கதிரொன்று பட்டகத்தின் வழியே செல்லும் பொழுது அதனுடைய ஆக்கக்கூறு (Constituent) நிறங்களாகப் பிரிக்கப்படுதலுக்கு நிறப்பிரிகை என்று பெயர். ஒவ்வொரு ஆக்கக்



படம் 7.1. பட்டகத்தில் நிறப்பிரிகை

கூறின் திசைமாற்றமும் வெவ்வேறு மதிப்புகளைக் கொண்டது. நிறப்பிரிகைக்குப் பின்னர் வெளிவரும் கதிர்களைத் திரையொன்றில் பிடித்தால், கிடைக்கும் படிவம் கண்ணுறு நிறமாலை (Visible spectrum) எனப்படும். ஆனால் நிறமாலையில் திரையின்மீது தோன்றாத பகுதியும் உண்டு. கண்ணுறு பகுதி ஊதா (Violet)விலிருந்து சிகப்பு வரை "VIBGYOR" என்னும் வரிசையில் அமைந்து முக்கியமான ஏழு நிறங்களைக் கொண்டதாக இருக்கும். ஊதா நிறக் கதிர்களுக்கு ஏற்படும் திசைமாற்றம் அதிகமாகவும், சிகப்பு நிறக் கதிர்களுக்கு ஏற்படும் திசைமாற்றம் குறைவாகவும் இருக்கும். படம் 7.1. வெள்ளை ஒளிக் கதிரொன்று ஒரு முப்பட்டகத்தின் வழியாகச் சென்று விலகல் அடைவதைக் காட்டுகின்றது. ஊதா நிறத்தின்கீழ் அமைந்துள்ள கண்ணுக்குத் தோன்றாத நிறமாலையின் பகுதி புறஊதா (Ultra violet) என்றும், சிகப்பு நிறத்தின் மேல் பகுதியில் அமைந்து கண்ணுக்குத் தோன்றாத பகுதி புறச் சிகப்பு (Infra red) என்றும் சொல்லப்படும். நாம் இந்தப் பகுதியில், கண்ணுறு பகுதியில் அமையும் கதிர்களைப்பற்றி மட்டுமே ஆராய்வோம். நிறப்பிரிகை அடையாத ஒளி அல்லது பிரிக்க முடியாத ஒளி, ஒற்றைநிற ஒளி (Monochromatic light) எனப்படும்.

ஒளி ஒருவிதமான அலையியக்கம் என்று கொண்டால், ஒளியானது அதனுடைய ஆக்கக் கூறுகளாக நிறப்பிரிகை அடைதலுக்கு நல்ல விளக்கம் கொடுக்க இயலும். இதைப்பற்றி அலைக் கொள்கையின்கீழ் தெளிவாகப் படிக்கலாம். அதற்குமுன்னர் ஒளி குறிப்பிட்டதொரு திசைவேகம் V-யுடன் பரவுகின்றது என்று கொள்வோம். எனவே ஒளிபரவும் ஊடகத்தினுள் உள்ள துகள்களின் திசைவேகம் V, அலை நீளம் λ, அதிர்வெண் n, இவற்றிற்கு இடையேயான சமன்பாடு $V = n\lambda$ ஆகும். சூரியஒளி பல நிறங்களை கொண்டிருப்பதன் காரணம், அது வேறுபட்ட அலைநீளங்களைக் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்களைக் கொண்டிருப்பதேயாகும். பிரிகையை உண்டாக்குமொரு ஊடகத்தில் பல அலைநீள மதிப்புகளைக்கொண்ட கதிர்வீச்சுக்கள் செல்லும்பொழுது வெவ்வேறு திசைவேகத்துடன் செல்லும்.

வெற்றிடத்தில் எல்லா அலைநீளங்களைக்கொண்ட கதிர்களுக்கும் திசைவேகம் சமமாகும். அதனை 'c' எனக் குறிப்பது வழக்கம். ஊடகமொன்றில் குறிப்பிட்டதொரு அலைநீளமுள்ள ஒளிக்கான திசைவேகம் V எனில், அதன் ஒளிவிலகல் எண்,

$$\mu = \frac{\text{வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்}}{\text{ஊடகத்தில் திசையின் ஒளிவேகம்}}$$

$$= \frac{c}{V} \text{ ஆகும்.}$$

வெற்றிடத்தில்தான் ஒளியின் திசைவேகம் பெரும மதிப்பைக் கொள்ளுமாதலால், மற்ற ஊடகங்களின் μ மதிப்பு வெற்றிடத்தின் μ மதிப்பான ஒன்றைவிட அதிகமாக இருக்கும். மேலும்,

$$\mu = \frac{c}{V} = \frac{\frac{c}{\nu}}{\frac{c}{\nu}} = \frac{\text{வெற்றிடத்தில் அலைநீளம்}}{\text{ஊடகத்தில் அலைநீளம்}}$$

இங்கு ν என்பது, ஒளிபரவ எங்கும் நிறைந்துள்ளதாகக் கருதப்படும் ஈதர் (Ether) என்னும் ஊடகத்தின் துகள்களின் அதிர்வெண் ஆகும். எனவே, ஒரு ஊடகத்தின் விலகல் எண் μ, அதன்மீது படும் ஒளியின் அலைநீளத்தைப் பொறுத்துள்ளதாகையால், விலகல் கோணம் (Angle of refraction) அலைநீளத்தைப் பொறுத்து மாறும் என்பது தெளிவாகின்றது. அதாவது வெவ்வேறு அலைநீளங்களுக்கு வெவ்வேறு விலகல் கோணங்கள் உண்டாகும். வெள்ளொளியில் பல அலைநீளங்களைக்கொண்ட கதிர்கள் இருப்பதனுல், அதனுடைய ஆக்கக் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. பட்டகத்தினுள் சிகப்புநிற ஒளிக்கு மஞ்சள்நிற ஒளியைவிட திசைவேகம் அதிகம். மஞ்சள் நிறத்திற்கு ஏற்படும் திசைமாற்றம், சராசரி திசைமாற்றமாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றது. வெவ்வேறு நிற ஒளிக்கதிர்களுக்குப் பட்டகத்தின் விலகல் எண், வெவ்வேறு மதிப்புக்களைக்கொண்டதாக உள்ளது. அலைநீளம் குறைந்தால் திசைமாற்றக் கோணத்தின் மதிப்பு அதிகரிக்கின்றது. விலகல் எண்ணின் மதிப்பும் அதிகரிக்கின்றது. இதனுல் சிகப்பு நிறத்திற்குக் குறைந்த திசைமாற்றமும், ஊதாவுக்கு மிக அதிகமான திசைமாற்றமும் ஏற்படுகின்றது. எனவே, நிறப் பிரிகையை உண்டாக்கும் ஊடகத்தின் விலகல் எண் ஊதா நிறத்திற்கு அதிக மதிப்பையும், சிகப்பு நிறத்திற்குக் குறைந்த மதிப்பையும் கொண்டிருக்கும். இந்த முறைப்படி ஒளிவிலகல் ஏற்பட்டால், சாதாரண முறையில் நிறப்பிரிகை ஏற்படுகின்றது எனலாம். உண்டாகும் நிறங்கள் 'VIBGYOR' என்னும் வரிசைப்படி அமையாமல் இருக்குமேயானுல், ஒழுங்கற்ற நிறப்பிரிகை (Anomalous dispersion) எனப்படும்.

7.3. சூரிய ஒளி நிறமாலை :

பட்டகமொன்றின் வழியாக சூரிய ஒளி செல்லுமாறு செய்தால் விலகலுக்குப் பின்னர் பல நிறங்களுக்கான பகுதிகள் தொடர்ச்சியாகத் தெரிகின்றன. அதில் கண்ணுறு பகுதியில் (Visible region) உள்ள எல்லா அலைநீளங்களைக்கொண்ட கதிர்களும் உள்ளமை

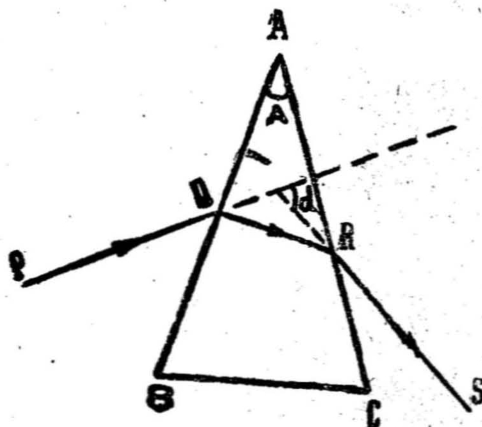
யால் ஒரு தொடர் நிறமாலை (Continuous Spectrum) தோன்றுகின்றது. இருப்பினும் தொடர்நிற மாலையை நன்கு கவனித்தால் சில கருமைநிற வரிகள் காணப்படுகின்றன. இவைகள் முதன் முதலில் ஃப்ரான்ஹோபரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதால் ஃப்ரான் ஹோபர் வரிகள் (Fraunhoffer lines) எனப்படும். இவற்றுள் சில முக்கியமான வரிகளும், அவைகளுக்கிடப்பட்ட குறிப்பெயர்களும், நிறங்களும், அலை நீளங்களும் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அலை நீளங்கள் ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகினால் (Angstrom unit) அளக்கப் படுகின்றன.

1 ஆ. அ. $(A.U.) = 10^{-8}$ செ.மீ. $= 10^{-10}$ மீட்டர் ஆகும்

குறிபெயர்	நிறம்	அலை நீளம்
C	சிகப்பு	6563 ஆ. அ.
D	மஞ்சள்	5896 "
E	பச்சை	5270 "
F	நீலம்	4861 "
G	கருநீலம் (Indigo)	4808 "
H	ஊதா	3968 "

7.4. குறைந்த விலகுகோணமுடைய பட்டகங்கள் :

மிகக் குறைந்த அளவு விலகல் கோணம் *A*-யைக் கொண்ட பட்டகம் *ABC*-யைக் கருதுவோம் (படம் 7.2). இத்தகைய பட்ட



படம் 7.2.

கத்தில் திசைமாற்றக் கோணம் d என்றும், ஒளிவிலகலை உண்டாக்கும் கோணம் A என்றும், விலகல் எண் μ என்றும் கொண்டால்,

$$d = (\mu - 1) A \qquad (1)$$

என்பது தெரியும்.

சிகப்பு (C), நீலம் (F), மஞ்சள் (D) இவைகளுக்கான பட்டகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்களை முறையே μ_C, μ_F, μ_D என்றும். திசைமாற்றக் கோணங்களை முறையே d_C, d_F, d_D என்றும் கொள்வோம்.

சமன்பாடு (1)-ஐப் போன்று இந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து எழுத,

$$d_C = (\mu_C - 1) A \text{ [சிகப்பு நிறத்திற்கு]},$$
$$d_F = (\mu_F - 1) A \text{ [நீல நிறத்திற்கு]},$$
$$d_D = (\mu_D - 1) A \text{ [மஞ்சள் நிறத்திற்கு]},$$

என்ற சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

நீல நிறத்திற்கும் சிகப்பு நிறத்திற்கும் ஏற்படும் திசைமாற்றக் கோணங்களின் வேறுபாடு ($d_F - d_C$), இந்த இரண்டு நிறங்களுக்கு இடையேயான கோண நிறப்பிரிகை (Angular dispersion) எனப்படும். மேலும், $\frac{d_F - d_C}{d_D}$ என்பது, முப்பட்டகம் ஏற்படுத்தும் கோணநிறப் பிரிகைக்கும், மையக் கதிருக்கு (மஞ்சள்) ஏற்படும் திசைமாற்றக் கோணத்திற்கும் இடைப்பட்ட விகிதமாகும். இந்த விகிதம் பட்டகத்தின் பிரிதிறன் (Dispersive power) எனப்படும்.

$$\therefore \quad (d_F - d_C) = (\mu_F - \mu_C) A$$

$$\therefore \quad \frac{d_F - d_C}{d_D} = \frac{(\mu_F - \mu_C) A}{(\mu_D - 1) A}$$

$$= \frac{(\mu_F - \mu_C)}{(\mu_D - 1)} = \omega$$

ω என்பது கண்ணுறுப் பகுதியில் பட்டகத்தின் பிரிதிறனின் மதிப்பு ஆகும். சிகப்பு நிறம், நீல நிறம் இவைகளுக்கிடைப்பட்ட பகுதிதான் கண்களுக்கு மிகத் தெளிவாக தெரிகின்ற காரணத்தால் பிரிதிறனைக் கணக்கிடுகையில் இவைகளை எல்லைகளாகக் கொள்வது வழக்கம்.

கத்தில் திசைமாற்றக் கோணம் d என்றும், ஒளிவிலகலை உண்டாக்கும் கோணம் A என்றும், விலகல் எண் μ என்றும் கொண்டால்,

$$d = (\mu - 1) A \qquad (1)$$

என்பது தெரியும்.

சிகப்பு (C), நீலம் (F), மஞ்சள் (D) இவைகளுக்கான பட்டகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்களை முறையே μ_C, μ_F, μ_D என்றும், திசைமாற்றக் கோணங்களை முறையே d_C, d_F, d_D என்றும் கொள்வோம்.

சமன்பாடு (1)-ஐப் போன்று இந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து எழுத,

$$d_C = (\mu_C - 1) A \text{ [சிகப்பு நிறத்திற்கு]},$$

$$d_F = (\mu_F - 1) A \text{ [நீல நிறத்திற்கு]},$$

$$d_D = (\mu_D - 1) A \text{ [மஞ்சள் நிறத்திற்கு]},$$

என்ற சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

நீல நிறத்திற்கும் சிகப்பு நிறத்திற்கும் ஏற்படும் திசைமாற்றக் கோணங்களின் வேறுபாடு ($d_F - d_C$), இந்த இரண்டு நிறங்களுக்கு இடையேயான கோண நிறப்பிரிகை (Angular dispersion) எனப்படும். மேலும், $\frac{d_F - d_C}{d_D}$ என்பது, முப்பட்டகம் ஏற்படுத்தும் கோணநிறப் பிரிகைக்கும், மையக் கதிருக்கு (மஞ்சள்) ஏற்படும் திசைமாற்றக் கோணத்திற்கும் இடைப்பட்ட விகிதமாகும். இந்த விகிதம் பட்டகத்தின் பிரிதிறன் (Dispersive power) எனப்படும்.

$$\therefore \quad (d_F - d_C) = (\mu_F - \mu_C) A$$

$$\therefore \quad \frac{d_F - d_C}{d_D} = \frac{(\mu_F - \mu_C) A}{(\mu_D - 1) A}$$

$$= \frac{(\mu_F - \mu_C)}{(\mu_D - 1)} = \omega$$

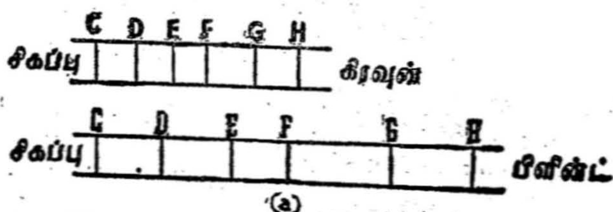
ω என்பது கண்ணுறுப் பகுதியில் பட்டகத்தின் பிரிதிறனின் மதிப்பு ஆகும். சிகப்பு நிறம், நீல நிறம் இவைகளுக்கிடைப்பட்ட பகுதிதான் கண்களுக்கு மிகத் தெளிவாக தெரிகின்ற காரணத்தால் பிரிதிறனைக் கணக்கிடுகையில் இவைகளை எல்லைகளாகக் கொள்வது வழக்கம்.

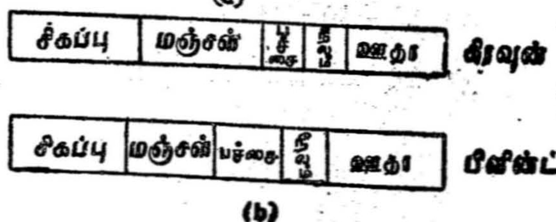
7.5. முரணிய நிறப்பிரிகை

ஒளிவிலகலை ஏற்படுத்துமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு முப்பட்டகங்களில் ஒன்று கிரௌன் கண்ணாடியாலும், மற்றது பிளின்ட் கண்ணாடியாலும் செய்யப்பட்டுள்ளன என்று கொள்வோம். இப்பொழுது வெள்ளொளி அவற்றின் வழியாகச் சென்று நிறப் பிரிகைக்குப் பின்னர் ஏற்படுத்தும் நிறமாலைகளை ஒரே திரையில் அடுத்தடுத்து அமையுமாறு செய்தால் கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் தெரியும்.

1. பட்டகங்களில் இருந்து சமமான தூரங்களில் ஏற்படும் இரண்டு நிறமாலைகளின் நீளங்கள் வேறுபட்டவைகளாக உள்ளன. பிளின்ட் கண்ணாடியால் உண்டாக்கப்பட்ட நிறமாலை, கிரௌன் கண்ணாடியால் உண்டாக்கப்பட்ட நிறமாலையைப் போல இருமடங்கு உள்ளது (படம் 7.3. a).

2. பட்டகங்களின் கோணங்களை அவைகள் உண்டாக்கும் நிறமாலைகளில் இறுதி நிறங்கள் ஒன்றோடொன்று பொருந்துமாறு எடுத்துக்கொண்டாலும் இடைப்பட்ட நிறங்களுக்கு இடையேயான இடைவெளிகள் சமமாக இருப்பதில்லை. அதாவது ஒன்றினால் உண்டாக்கப்படும் நிறமாலை, அடுத்ததினால் உண்டாக்கப்பட்டதைப் போன்று இருப்பதில்லை [படம் 7.3 (b)].





படம் 7.3. முரணிய நிறப்பிரிகை

இதனால் ஏதாவது இரு நிறங்களுக்கு இடைப்பட்ட நிறப் பிரிகை, நிறமாலையின் முனைகளில் அமையும் நிறங்களுக்கு இடைப்பட்ட நிறப் பிரிகையிலிருந்து வேறுபட்டதாக இருக்கும்.

பட்டகங்களில் ஒளிவிலகல் ஏற்படும் பொழுது உண்டாகும் இத்தகைய வேறுபாடுகள் முரணிய அல்லது முறைவிலா நிறப் பிரிகை (Irrational dispersion) எனப்படும்.

7.6 நிறப் பிறழ்ச்சி :

பட்டகம் அல்லது வில்லையொன்றின் மூலம் ஒரு பொருள் பார்க்கப்படும்பொழுது, வெவ்வேறு நிறங்களுக்கு வெவ்வேறு ஒளி விலகல் எண்கள் இருப்பதால், ஒவ்வொரு நிறக்கதிரும் ஒவ்வொரு படிவத்தை உண்டாக்குகின்றது. இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் படிவங்கள் எல்லாம் ஒரு புள்ளியில் பொருந்துவது இல்லை. இதனால் உண்டாகும் படிவம் பல நிறங்களைக் கொண்டதாகவும், நீண்டும் உள்ளது. இதன் பயனாக வெள்ளை ஒளியை வெளிவிடும் ஒரு ஒளிமூலம் பல நிறங்களைக் கொண்டதாகத் தோன்றுகின்றது. இம்மாதிரி அமையும் படிவத்தின் குறைபாடு நிறப்பிறழ்ச்சி எனப் படும். வில்லைகளின் தொகுப்பு, அல்லது பட்டகங்களின் தொகுப்பு வழியாகப் பார்க்கப்படும்பொழுது உண்டாகும் படிவங்களின் இக் குறைபாடு நீக்கப்பட்டிருந்தால் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய தொகுப்பு எனப்படும்.

7.7. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய பட்டகங்கள் :

ஒரே பருப்பொருளினால் செய்யப்பட்ட பட்டகங்களை உப யோகப் படுத்தினால், அவற்றின் திசைமாற்றங்களின் மதிப்பு சுழி யாக்கப்பட்டாலன்றி, அவற்றின் நிறப்பிறழ்ச்சியை நீக்க முடியாது என நியூட்டன் கண்டார்.

A_1, A_2, A_3 என்பவை முறையே ஒரே பருப்பொருளினால் ஆன மூன்று மெல்லிய பட்டகங்களின் கோணங்கள் என்றும், ஏதாவது இரண்டு நிறங்களுக்கு அவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே μ, $\mu + d\mu$ என்றும் கொள்வோம்.

எல்லா மென்பட்டகங்களின் வழியாகவும், ஒளிக் கதிரொன்று முறையாக அனுப்பப்படுவதாகக் கொள்வோம். ஒரு மென்பட்ட கத்தில் விலகலுக்கான சமன்பாடு,

$$d = (\mu - 1) A \text{ ஆகும்.}$$

எல்லாப் பட்டகங்களிலும் ஏற்படும் விலகலின் கூடுதலை D எனக் கொண்டால்,

$$D = (\mu - 1) A + (\mu - 1) A_2 + (\mu - 1) A_3 + \dots\dots\dots$$
$$= (\mu - 1) (A_1 + A_2 + A_3 + \dots\dots\dots)$$

அல்லது,

$$A_1 + A_2 + A_3 + \ldots\ldots = \frac{D}{(\mu - 1)}$$

கோணம் A அளவு கொண்ட பட்டகமொன்றின் ஏதாவது இரு நிறங்களுக்கு நிறப்பிரிகை $= (\mu_1 - \mu_2)A$ அல்லது $d\mu.A$ எனக் கொள்வோம்.

எனவே, பல பட்டகங்களின் வழியாக ஒளிச் செல்லும்பொழுது ஏற்படும் மொத்த நிறப்பிரிகையின் மதிப்பு

$$= d\mu\, A_1 + d\mu.A_2 + d\mu\, A_3 + \ldots\ldots\ldots$$

$$= d\mu\, (A_1 + A_2 + A_3 + \ldots\ldots\ldots)$$

$$= \frac{d\mu.D}{(\mu - 1)}$$

ஆனால்,

$$\frac{d\mu}{(\mu - 1)} = \omega,$$

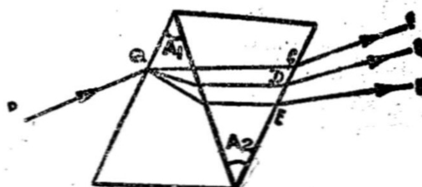
பட்டகத்தின் பிரிதிறன் ஆகும்.

எனவே நிறப்பிரிகையின் மதிப்பு $= \omega.D$

எனவே ஒரே பருப்பொருளால் செய்யப்பட்ட பல பட்டகங்களைக்கொண்ட தொகுப்பில், நிறப்பிரிகையை நீக்கிவிட்டால், திசைமாற்றமும் நீக்கப்பட்டுவிடும். ஆனால் வெவ்வேறு பொருள்களினால் செய்யப்பட்ட பட்டகங்களாக இருந்தால் நிறப்பிறழ்ச்சியை மட்டும் நீக்கிவிட முடியும். ஏனெனில் பிரிதிறன் வெவ்வேறு பொருள்களுக்கு வெவ்வேறு மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும்.

7.3. திசைமாற்றம் இல்லாமல் நிறப்பிரிகை மட்டும் உண்டாகுமாறு பட்டகங்களை அமைத்தல் :

ஒளிக்கதிர்கள் பட்டகங்களின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது நிறப்பிரிகை மட்டும் உண்டாகுமாறும், திசைமாற்றம் ஏற்படாமலும் பட்டகங்களை அமைக்க இயலும் (படம் 7.4).



படம் 7.4

இவ்வாறு அமைக்கப்படும் பட்டகங்கள், நேர்முகப்பார்வைப் பட்டகங்கள் (Direct vision prisms) எனப்படும். இரண்டு பட்டகங்களில் ஒன்று கிரவுன் கண்ணாடியாலும், மற்றது பிளின்ட் கண்ணாடியாலும் செய்யப்பட்டிருக்கும். முதல் பட்டகத்தில் ஒளிவிலகலை உண்டாக்கும் கோணம் A_1 எனவும், சிகப்பு, நீல, மையக் கதிர்களுக்கு ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே μ_C, μ_F, μ_D எனவும் இருக்கட்டும். இரண்டாவது பட்டகத்தின் கோணம் A_2 எனவும், சிகப்பு, நீலம், மையக் கதிர்களுக்கு முறையே ஒளிவிலகல் எண்கள் μ'_C, μ'_F, μ'_D எனவும் இருக்கட்டும். முதல் பட்டகம் ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம்,

$$= (\mu_D - 1)\ A_1.$$

இரண்டாவது பட்டகம் ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம்,

$$= (\mu'_D - 1)\ A_2.$$

மொத்த திசைமாற்றம்

$$D = (\mu_D - 1)\ A_1 + (\mu'_D - 1)\ A_2$$

எனவே சுழிய திசைமாற்றத்திற்கு

$$(\mu_D - 1)\ A_1 + (\mu'_D - 1)\ A_2 = O \qquad (1)$$

அல்லது,

$$\frac{A_1}{A_2} = -\frac{\mu'_D - 1}{(\mu_D - 1)} \qquad (2)$$

ஆக இருக்க வேண்டும்.

சமன்பாடு (2), திசைமாற்றம் இல்லாமல் நிறப்பிரிகை ஏற்படுதலுக்கான நிபந்தனையைக் கொடுக்கின்றது. இப்படிப் பட்ட தொகுப்பில் இரண்டு நிறங்களான சிகப்பு (C), நீலம் (F), இவற்றிற்கிடையே உண்டாகும் நிறப்பிரிகைகளின் மதிப்புக்களாவன :

முதல் பட்டகம் உண்டாகும் நிறப்பிரிகை $= (\mu_F - \mu_C)\ A_1$

இரண்டாவது பட்டகம் உண்டாக்கும்

நிறப்பிரிகை $= (\mu'_F - \mu'_C)\ A_2$

மொத்த நிறப்பிரிகை $= (\mu'_F - \mu'_C)A_2 + (\mu_F - \mu_C)A_1 \qquad (3)$

சமன்பாடு (2)-லிருந்து,

$$A_2 = -\frac{(\mu_D - 1)}{(\mu'_D - 1)} \cdot A_1 \text{ ஆகும்.}$$

இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய மொத்த நிறப்பிரிகை

$$=(\mu_F-\mu_C)A_1-(\mu'_F-\mu'_C).\frac{(\mu_D-1)}{(\mu'_D-1)}\ .\ A_1$$

$$=\frac{\mu_F-\mu_c}{(\mu_D-1)}(\mu_D-1)A_1-\frac{\mu'_F-\mu'_C}{\mu'_D-1}.\ (\mu_D-1)A_1$$

ஆனல்,

$$\frac{\mu_F-\mu_C}{\mu_D-1}=\omega_1,\ \frac{\mu'_F-\mu'_D}{\mu'_D-1}=\omega_2 \text{ என்பவை}$$

பட்டகங்களின் பிரிதிறன்களாகும்.

எனவே மொத்த நிறப்பிரிகை $= (\mu_D-1)A_1(\omega_1-\omega_2)$.

இரண்டு பட்டகங்களும் வெவ்வேறு பருப்பொருள்களினல் செய்யப்பட்டிருந்தால், $\omega_1 \neq \omega_2$ ஆகும்.

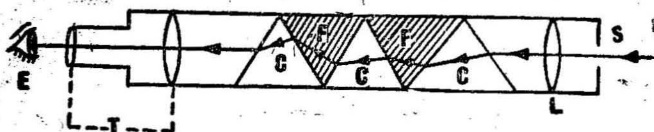
எனவே நிறப்பிரிகை மட்டும் இருக்கும்.

7.9 நேர்ப் பார்வை பட்டகமும், நேர்ப் பார்வை நிறமாலைமானியும்

மையக் கதிரொன்றுக்கு (மஞ்சள்) திசைமாற்றத்தை உண்டாக்காமல், நிறப்பிரிகையை மட்டும் உண்டாக்கும் பல பட்டகங்களின் தொகுப்பு ஒரு நேர்ப்பார்வை பட்டகம் (Direct vision prism) எனப்படும். இவ்வகை அமைப்பில் மூன்று அல்லது ஐந்து பட்டகங்கள் அவற்றின் ஒளிவிலகல் முகப்புகள் எதிர் எதிர்ப்க்கங்களில் இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டிருக்கும். அடுத்தடுத்த ப்ட்டகங்கள் கிரவுன் அல்லது பிளின்ட் கண்ணுடியால் செய்யப் பட்டிருக்கும். அவற்றிற்கு இடையே கானடா பால்சம் (Canada Balsm) வைத்து ஒரே தொகுப்பாக இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

நேர்முகப் பட்டகமொன்றைக் கொண்டு, நேர்ப்பார்வை நிறமாலைமானி (Direct vision Spectroscope)யை அமைக்கலாம். இதற்குக் குழாய் ஒன்றினுள் நேர்ப்பார்வை பட்டகம் வைக்கப்பட வேண்டும். அக் குழாயின் ஒரு பக்கத்தில் சரிசெய்யக்கூடிய பிளவு S-ம், படுகதிர்களை இணையாக்கவல்ல குவி வில்லை L-ம் படம் 7.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமைக்கப்பட வேண்டும். மறுமுனையில் தொலைநோக்கி (T) ஒன்று பொருத்தப்பட வேண்டும். இவ்வகையான அமைப்புக்களைக் கொண்டது நேர்ப்பார்வை நிறமாலைமானி எனப்படும். ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து வரும் ஒளியைப் பிளவின்மீது படும்படிச் செய்து, தொலைநோக்கியின்

மூலம் நோக்க, அவ்வொளி மூலத்தின் நிறமாலையைப் பார்க்கலாம். எவ்விதமான துணை அமைப்பும் பயன்படுத்தாமல் நிறமாலையை நேரடியாகப் பெறக்கூடிய வகையில் உள்ளமையால் இது நேர் முகப் பார்வை நிறமாலைமானி எனப்படுகின்றது.



படம் 7.5. நேர்ப்பார்வை நிறமாலைமானி

7.10. பட்டகங்களை நிறப்பிரிகை இல்லாமல் திசைமாற்றம் மட்டும் உண்டாக்குமாறு அமைத்தல்

பட்டகமொன்றின் வழியாக வெள்ளொளி செலுத்தப்பட்டால் அது திசைமாற்றத்துடன் நிறப்பிரிகையும் அடைகின்றது என்பது தெளிவான ஒன்று. இருந்தாலும் பட்டகங்களை நிறப்பிரிகை இல்லாமல் திசைமாற்றத்தை மட்டுமே கொடுக்குமாறு அமைக்க முடியும்.

ஒரு கிரவுன் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட பட்டகத்தின் ஒளி விலகல் கோணம் A_1 என்றும், அதனுடைய நீல, சிகப்பு, மையக் கதிர்களுக்கான ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே μ_F, μ_C, μ_1 என்றும் கொள்வோம்.

பிளின்ட் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்டுள்ள இரண்டாவது பட்டகத்தின் கோணம் A_2 என்றும், நீல, சிகப்பு மையக் கதிர் களுக்கான ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே μ'_F μ'_C, μ_2 என்றும் கொள்வோம்.

கிரவுன் பட்டகம் ஏற்படுத்தும் நிறப்பிரிகை

$$= (\mu_F - \mu_C)\, A_1$$

பிளின்ட் பட்டகம் ஏற்படுத்தும் நிறப்பிரிகை

$$= (\mu'_F - \mu'_C)\, A_2$$

மொத்த நிறப்பிரிகை

$$= (\mu_F - \mu_C)\, A_1 + (\mu'_F - \mu'_C)\, A_2$$

நிறப்பிரிகை இல்லாமல் இருக்கவேண்டுமெனில், நிறப்பிரிகையின் மொத்த மதிப்பு சுழியமாக இருக்க வேண்டும்.

எனவே,

$$(\mu_F - \mu_C) A_1 + (\mu'_F - \mu'_C) A_2 = O$$

அல்லது,

$$\frac{A_2}{A_1} = -\frac{\mu_F - \mu_C}{\mu'_F - \mu'_C}. \tag{1}$$

இரண்டு பட்டகங்களும் உண்டாக்கும் மொத்த திசைமாற்றம்,

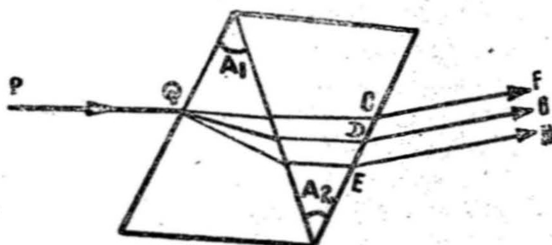
$$= (\mu_1 - 1) A_1 + (\mu_2 - 1) A_2 \tag{2}$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து A_2-க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய, மையக் கதிருக்கான திசைமாற்றம்,

$$= (\mu_1 - 1)\ A_1 + (\mu_2 - 1)\left[-\left(\frac{\mu_F - \mu_C}{\mu'_F - \mu'_C}\right)A_1\right]$$

$$= (\mu_1 - 1)\ A_1\left[1 - \frac{\mu_F - \mu_C}{\mu_1 - 1} \cdot \frac{\mu_2 - 1}{\mu'_F - \mu'_C}\right]$$

$$= (\mu_1 - 1)\ A_1\left[1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right] \tag{3}$$



படம் 7.6.

படம் 7.6 ல் EH, DG, CF என்பவை முறையே நீலம், மையம், சிகப்பு கதிர் களைக் குறிக்கின்றன. அவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக உள்ளன. எனவே, அவைகள் எல்லாம் விழித் திரையின்மீது ஒரு புள்ளியில் குவிக்கப்படும் எனவே நிறப்பிரிகை இருக்காது. இரண்டு பட்டகங்களின் பிரிதிறன்களும் சமமாக இருந்தால் ($\omega_1 = \omega_2$, ஏற்படும் திசைமாற்றமும் சுழியமாக இருக்கும். எனவே, சமன்பாடு (1)-லிருந்து அவைகளின் கோணங்கள் சமமாக

உள்ளன என்பது தெரிகின்றது. மேலும் இந் நிபந்தனைகளில் பட்டகங்கள் இரண்டும் சேர்ந்து ஒரு இணைப் பக்கங்களைக்கொண்ட கனச் செவ்வக கண்ணாடியாகச் செயல்படும். அப்படி இருப்பின் நிறப்பிரிகையோ திசைமாற்றமோ ஏற்படாது.

7.11. வில்லைகளில் ஏற்படும் நிறப்பிறழ்ச்சி:

வில்லைகளுக்கான, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து வில்லையின் குவிய தூரம் f, ஒளிவிலகல் எண் μ-வைப் பொறுத்தது என்பது தெரிகின்றது. ஆனால், சிகப்பு நிறத்திற்கு குறைந்த திசைமாற்றமும், நீல நிறத்திற்கு அதிக திசைமாற்றமும் ஏற்படுமாகையால், சிகப்பு கதிருக்கான ஒளி விலகல் எண் μ_C ஆனது, நீல நிறத்திற்கான ஒளிவிலகல் எண் μ_F-ஐவிடக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, இந்த மதிப்புகளின்படி சமன்பாட்டைப் பார்த்தால், சிகப்புநிறக் கதிருக்கு அதிகக் குவிய தூரமும், நீல நிறக் கதிருக்குக் குறைந்த குவிய தூரமும் இருக்கும்.

எனவே,

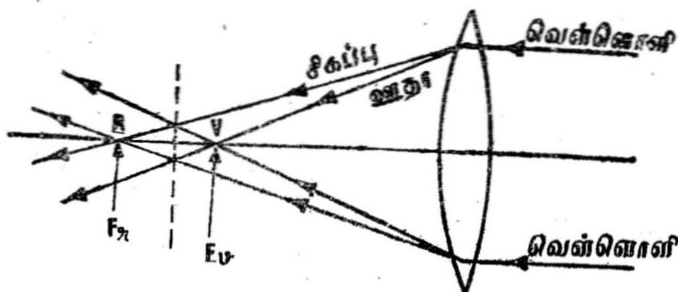
$$\frac{1}{f_v} = (\mu_F - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_r} = (\mu_C - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \text{ ஆகும்.}$$

மேலும்,

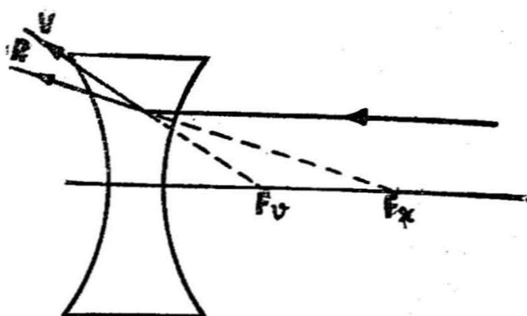
$$\mu_F > \mu_C \text{ ; எனவே } f_v < f_r.$$

தொலைவில் அமைந்துள்ள பொருள் ஒன்றிலிருந்து குவி வில்லையில் படும் வெள்ளொளிக் கற்றையைக் கருதினால், (படம் 7.7)



படம் 7.7. குவிவில்லையில் நிறப்பிறழ்ச்சி

ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர், நிறப்பிரிகை ஏற்படும். நிறப்பிரிகையில் உண்டாகும் ஊதா நிறக்கதிர்கள் அச்சின்மீது V என்னும் புள்ளியிலும் சிகப்புநிறக் கதிர்கள் மற்றொரு புள்ளி R-லும் குவியும். மற்ற நிறங்கள் இவ்விரு புள்ளிகளுக்குமிடையில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குவியும். இதனால் புள்ளிப் படிவத்திற்குப் பதில் நீண்டதொரு நிறமாலைப் படிவம் அச்சின்மீது உண்டாகும். ஊதா நிறம் வில்லைக் கருகில் குவியும். சிகப்பு நிறம் தொலைவில் குவியும். இவ்வாறு புள்ளியொன்றுக்குப் புள்ளிப் படிவம்உண்டாகாமல், நீண்டதொரு நிறப்படிவம் உண்டாவதை நிறப்பிறழ்ச்சி என்கிறோம். படம் 7.7-ல் நீளம் RV நிறப்பிறழ்ச்சியின் மதிப்பைக் கொடுக்கின்றது.



படம் 7.8.

குழிவில்லையில் உண்டாகும் நிறப்பிறழ்ச்சி படம் 7.8-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது கதிர்கள் விழும் பக்கத்திலேயே ஊதா, சிகப்பு நிறங்களுக்கான குவியங்கள் F_v, F_r இரண்டும் உண்டாகும். இரண்டு வில்லைகளிலும் ஊதாவுக்கான குவியம் F_v உண்டாகும் நிலையைப் பார்த்தால், குழிவில்லையில் F_r-க்கு இடது பக்கத்திலும் (படம் 7.8.), குவிவில்லையில் F_r-க்கு வலது பக்கத்திலும் (படம் 7.7.) உண்டாகின்றது. எனவே, ஒரு குழிவில்லையை ஒரு குவிவில்லையுடன் சேர்த்து F_v, F_r இரண்டு குவியங்களையும் ஒரே நிலையில் இருக்குமாறு செய்ய முடியும் என்பது தெளிவாகின்றது.

வில்லைக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \text{ ஆகும்.}$$

μ_F, μ_C என்பவை நீலம் (F), சிகப்பு (C) கதிர்களுக்கான ஒளிவிலகல் எண்கள் என்றும், அவைகளுக்கான குவிய தூரங்கள் முறையே, f_F, f_C என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{1}{f_F} = (\mu_F - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{f_C} = (\mu_C - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (2)$$

என்னும் சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

$$\therefore \left(\frac{1}{f_F} - \frac{1}{f_C}\right) = (\mu_F - \mu_C)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (3)$$

μ என்பது மையக்கதிருக்கான ஒளிவிலகல் எண் எனில்,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (4)$$

சமன்பாடு (4)-லிருந்து,

$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ -க்கான மதிப்பை (3)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{1}{f_F} - \frac{1}{f_C} = \frac{\mu_F - \mu_C}{\mu - 1} \cdot \frac{1}{f} = \frac{\omega}{f} \quad (5)$$

என கிடைக்கும். ω என்பது வில்லையின் பிரிதிறன் ஆகும்.

அல்லது $\frac{f_C - f_F}{f_C \cdot f_F} = \frac{\omega}{f}$

$f_C \cdot f_F = f^2$ என்று கொண்டால்,

$$\frac{f_C - f_F}{f} = \omega$$

$\therefore$ நிறப்பிறழ்ச்சியின் மதிப்பு $f_C - f_F = \omega . f$ ஆகும்

மாற்று முறை (Aliter) ;

வில்லைக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$ ஆகும்.

பகுனிகாண (differentiating),

$$-\frac{df}{f^2} = d\mu\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$= d\mu.\ \frac{1}{f(\mu-1)}\left[\because\ \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=\frac{1}{f(\mu-1)}\right]$$

மேலும்,

$$\frac{-df}{f}=\frac{d\mu}{(\mu-1)}$$

$$\therefore\quad -df=\omega\cdot f\left[\because\ \frac{d\mu}{(\mu-1)}=\omega\right]$$

df நிறப்பிழழ்ச்சியின் மதிப்பு ஆகும்.

7.12. இரு மென் வில்லைகளின் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய தொகுப்பு

இணைந்து அமைந்துள்ள மென் வில்லைகளில் ஒன்றிற்கு சிகப்பு, நீலம், மையக் கதிர்களுக்கான குவியத் தூரங்களை முறையே f_r, f_b, f_1 என்றும், மற்றொரு வில்லைக்கு முறையே f'_r, f'_b, f_2 என்றும் கொள்வோம்.

எனவே, இரண்டு வில்லைகளும் இணைந்து (Lenses in contact) இருக்கும்பொழுது,

$$\frac{1}{F_r}=\frac{1}{f_r}+\frac{1}{f'_r}$$

$$\frac{1}{F_b}=\frac{1}{f_b}+\frac{1}{f'_b}$$

இணைப்பு நிறப்பிழச்சி நீக்கியதாக இருக்க வேண்டுமெனில்,

$F_r = F_b$ என இருக்க வேண்டும்.

அதாவது இரண்டு வில்லைகளும் ஏற்படுத்தும் நிறப்பிறழ்ச்சிகளின் கூடுதல் சுழியமாக இருக்க வேண்டும்.

எனவே,

$$\frac{1}{f_b}-\frac{1}{f_r}+\frac{1}{f'_b}-\frac{1}{f'_r}=O$$

[$\because$ பகுதி 7.11-ல் சமன்பாடு (5)]

இப்பொழுது முதல் வில்லையின் பரப்புகளுக்கான வளைவு ஆரங்களை R_1, R_2 எனவும், இரண்டாவது வில்லையின் பரப்பு களுக்கான வளைவு ஆரங்களை R_1', R_2' என்றும் கொள்வோம்.

முதல் வில்லைக்கு,

$$\frac{1}{f_r} = (\mu_C - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_b} = (\mu_F - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_1} = (\mu_1 - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

எனவே,

$$\frac{1}{f_b} - \frac{1}{f_r} = (\mu_F - \mu_C)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= \frac{\mu_F - \mu_C}{f_1(\mu_1 - 1)} = \frac{\omega_1}{f_1}$$

$$\left[\because \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{f_1(\mu_1 - 1)}\right]$$

இதே போன்று இரண்டாவது வில்லைக்கு,

$$\frac{1}{f'_r} = (\mu'_C - 1)\left(\frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}\right)$$

$$\frac{1}{f'_b} = (\mu'_F - 1)\left(\frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_2} = (\mu_2 - 1)\left(\frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}\right)$$

எனவே,

$$\frac{1}{f'_b} - \frac{1}{f'_r} = (\mu'_F - \mu'_C)\left(\frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}\right)$$

$$= \frac{\mu'_F - \mu'_C}{f_2(\mu_2 - 1)} = \frac{\omega_2}{f_2}$$

இங்கு ω_1, ω_2 என்பவை வில்லைகளின் பிரிதிறன்கள் ஆகும்.

$\therefore$ $F_r = F_b$ ஆக இருக்க வேண்டுமெனில்,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0$$

என இருக்கவேண்டும்.

அதாவது,

$$\frac{\omega_1}{f_1} = -\frac{\omega_2}{f_2} \text{ அல்லது } \frac{f_1}{f_2} = -\frac{\omega_1}{\omega_2} \text{ ஆக}$$

இருக்கவேண்டும்.

மாற்று முறை :

இணைப்பில் உள்ள இரு வில்லைகளின் குவிய தூரங்கள் முறையே f_1, f_2 என்றும், அவற்றின் இணைமாற்று வில்லையின் (Equivalent lens) குவிய தூரம் F எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

பகுனிக் காண,

$$-\frac{dF}{F^2} = -\frac{df_1}{f_1^2} - \frac{df_2}{f_2^2}$$

இணைப்புப் பிறழ்ச்சி நீங்கியதாக இருக்கவேண்டுமெனில், F எல்லா நிறங்களுக்கும் மாறிலியாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$dF = O$$

ஆனல்,

$$-\frac{df_1}{f_1} = \omega_1, \; -\frac{df_2}{f_2} = \omega_2 \text{ என்பது}$$

பகுதி 7.11-ல் பார்த்ததொன்ருகும்.

$$\therefore -\frac{dF}{F^2} = -\frac{df_1}{f_1^2} - \frac{df_2}{f_2^2}$$

$$= \frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2}$$

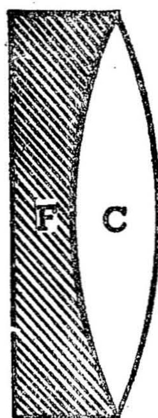
நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்க, $\frac{dF}{F^2} = 0$ ஆக இருக்க வேண்டும்.

$$\therefore \frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = O$$

என்ற நிபந்தனை சரிசெய்யப்பட வேண்டும்.

சமன்பாடு $\frac{f_1}{f_2} = -\frac{\omega_1}{\omega_2}$ என்பதிலிருந்து இரண்டு வில்லைகளின் குவிய தூரங்களின் விகிதம், அவற்றின் பிரிதிறன்களின் விகிதத்தில் அமையவேண்டுமென்று தெரிகின்றது. எதிர்க்குறியிலிருந்து ஒன்று குவிவில்லையாக இருந்தால், மற்றது குழிவில்லையாக அமைய வேண்டுமென்பது தெரிகின்றது. வழக்கமாக கிரவுன் கண்ணுடியினாலான குவிவில்லையும், பிளின்ட் கண்ணுடியால் ஆன குழி வில்லையும் சேர்த்து, தொகுப்பு குவிவில்லையைப்போன்று செயல் படுமாறு அமைக்கப்படுகின்றது.

இரண்டு வில்லைகளும் இணைந்திருக்க வேண்டுமாகையால் சேர்ந்திருக்கும் இரு பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்களும் சமமாக இருக்கவேண்டும். சேர்ந்திருக்கும் பரப்புகளில் ஒளி எதிரொளிப்பினுல் ஒளிப்பொலிவு குறையாமல் தடுப்பதற்காக கானடா பால்சம் (Canada Balsm) என்னும் பொருளால் இரண்டு பரப்புகளும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இங்கு பயன்படும் குவிவில்லை, இருபுறக் குவிவில்லையாகவும் குழிவில்லை மட்டக் குழிவில்லையாகவும் இருக்கும். படம் 7-9-ல் காட்டப் பட்டுள்ளதுபோன்ற அமைப்பு நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை (Achromatic doublet) எனப்படும்.



படம் 7 9
நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லை

முரணிய நிறப்பிரிகை (Irrational dispersion) காரணமாக குறிப்பிட்ட இரு நிறங்களுக்கிடையே உண்டாகும் நிறப் பிறழ்ச்சியை மட்டுமே இரட்டை சரிசெய்கின்றது. மற்ற நிறங்களுக்கு முழுவதுமாக நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கம் ஏற்படாது. ஆனல் இவ்வகையில் நீக்கப்படாமல் விடப்படும் நிறப் பிறழ்ச்சி குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். இதைப் போன்ற நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லை தொலை நோக்கியில் கண்ணருகு வில்லையாகப் பயன் படுகின்றது. டோலண்ட் என்பவர் தான் முதன் முதலில் 1758-ல் இதைப்போன்ற இரட்டையை அமைத்தார்.

7.13. இடைவெளி கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு வில்லைகளின் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய தொகுப்பு :

இரண்டு வில்லைகளின் குவிய தூரங்களை முறையே f_1, f_2 என்றும், அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளி 'a' என்றும்,

அவற்றின் பிரிதிறன்களை முறையே ω_1, ω_2 என்றும் கொள்வோம்.

அவைகளின் இணைப்புக் குவிய தூரம் F எனில், தொகுப்பிற்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2} \text{ ஆகும்.}$$

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பகுக்க,

$$-\frac{dF}{F^2} = -\frac{df_1}{f_1^2} - \frac{df_2}{f_2^2} + a\ \frac{f_2 . df_1 + f_1\, df_2}{f_1^2 . f_2^2}$$

$$= \frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2}(\omega_1 + \omega_2)$$

நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமைய,

$$d\left(\frac{1}{F}\right) = -\frac{dF}{F^2} = O$$

ஆக இருக்கவேண்டும்.

$$\therefore \quad \frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} - \frac{a(\omega_1 + \omega_2)}{f_1 f_2} = O$$

அல்லது,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = \frac{a(\omega_1 + \omega_2)}{f_1 f_2}$$

இரண்டு வில்லைகளும் ஒரே பருப்பொருளால் ஆனது எனில், $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ என இருக்கட்டும்.

எனவே,

$$\frac{\omega}{f_1} + \frac{\omega}{f_2} = \frac{2a\omega}{f_1 f_2}$$

அல்லது,

$$\frac{f_1 + f_2}{f_1 f_2} = \frac{2a}{f_1 f_2}$$

அல்லது,

$$f_1 + f_2 = 2a$$

$$a = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

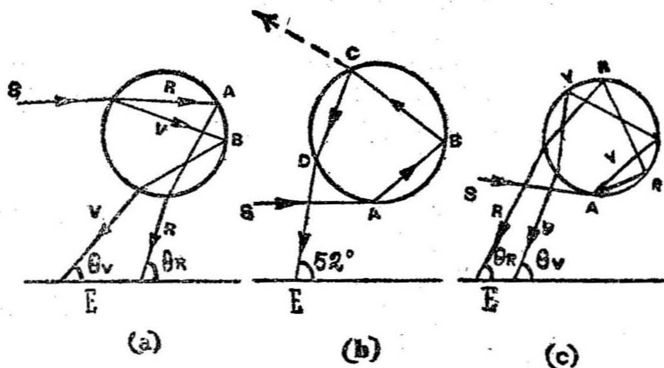
எனவே ஒரே பொருளால் ஆன இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இணைப்பாகச் செயல்பட, அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரம், அவ் வில்லைகளின் குவிய தூரங்களின் கூடுதலில் பாதி அளவு இருக்கவேண்டும். மேலும் நிபந்தனையில் பிரிதிறன் மதிப்பு இல்லாமையால், எல்லா நிறங்களுக்கும் இது நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்கும். ஆனால் இணைப்பு இரட்டை (Lenses in contact), இரண்டு நிறங்களுக்கு மட்டுமே நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்கும் என்று முன்பே பார்த்தோம்.

எப்பொழுதும் இடைவெளியின் மதிப்பு 'a' நேர்க்குறியுடன் இருக்குமாதலால், இரண்டு வில்லைகளில் அதிகக் குவியதூரமுள்ளது குவிவில்லையாக இருக்கவேண்டும். வழக்கமாக ஒரே பருப்பொருளினால் செய்யப்பட்ட இரண்டு குவிவில்லைகள், அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு, அவைகளின் குவிய தூரங்களின் கூடுதலில் பாதி அளவு இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.

7.14 வானவில் :

வெள்ளொளி நிறப்பிரிகை அடையும்பொழுது அதனுடைய ஆக்கக் கூறுகளாக பிரிக்கப்படுதலுக்கு, இயற்கையின் விளைவால் தோன்றும் வானவில் (Rainbow) நல்ல எடுத்துக்காட்டாக அமைகின்றது. சிறு தூறல் அல்லது பெரு மழையின் பின் படியும் நீர்த்துளிகளில் சூரிய ஒளியானது, ஒளிவிலகல், நிறப்பிரிகை, அக எதிரொளிப்பு ஆகிய மூன்றுவிதமான விளைவுகளுக்குள்ளாகும்பொழுது வானவில் தோன்றுகின்றது. வானவில்லை நோக்கி நிற்கும் ஒருவருக்கு சூரியன் எப்பொழுதும் பின்புறமாக இருக்கும். வானவில்லில், சூரியஒளி நிறமாலையில் அமைந்துள்ள ஏழு நிறங்களும் வில்வடிவில் அமைந்துள்ளன. சாதாரண நிலையில் பொலிவுமிக்க ஒரு வில்லும், சில நேரங்களில் இரண்டு வில்களும் ஏற்படுகின்றன. பொலிவுமிக்க வில் முதல் நிலை வானவில் (Primary Rainbow) எனப்படும். நிறப்பிரிகையை உண்டாக்கும் நீர்த்துளிகளைக் கோள வடிவுடையவை எனக்கொண்டால் படம் 7.10 (a)ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோன்று நீர்த்துளியினுள் கதிர் ஒருமுறை அக எதிரொளிப்பு (Internal reflection) அடையும்பொழுது முதல் நிலை வானவில் ஏற்படுகின்றது. வில்வடிவ அமைப்பில் வெளிப்புறம் சிகப்பு நிறமும், உட்புறம் ஊதா நிறமும் கொண்டு அமையும். இது பார்க்கும் ஒருவரின் கண்ணிற்குக் கிட்டத்தட்ட 41° ஏற்றக் கோணத்தில் அமைந்திருக்கும்.

படம் 7.10-(b)-ல் உள்ளதுபோன்று படும் சூரிய ஒளிக் கதிர் வெளிப்படும் முன்னர் இரண்டு அக எதிரொளிப்புகளுக்கு உள்ளாகும்பொழுது இரண்டாவதாக ஒரு வில் ஏற்படுகின்றது.



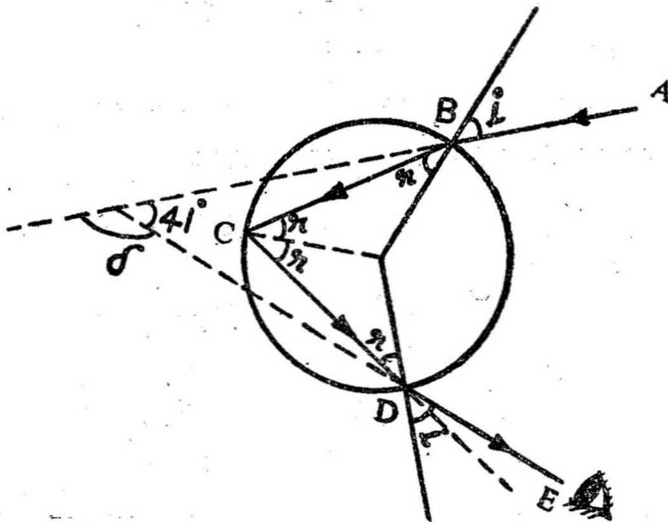
படம் 7.10.

இஃது இரண்டாம் நிலை வானவில் (Secondary Rainbow) எனப் படும். இவ்வில்லில் வெளிப்புறம் ஊதா நிறமும் உட்புறம் சிகப்பு நிறமும் கொண்டு அமையும். இஃது பார்க்கும் ஒருவரின் கண்ணிற்கு 52° ஏற்றக்கோணத்தில் அமைந்திருக்கின்றது. படம் 7.10-(c)-யிலிருந்து இரண்டாம் நிலை வில்லின் நிறங்கள் தலைகீழாக மாறுவதற்கானக் காரணம் தெளிவுபடுகின்றது. நீர்த் துளியினுள் ஒன்று அல்லது இரண்டு அக எதிரொளிப்புகள் ஏற்படுவது, கதிர் துளியின்மேல் பட்டு உட்செல்லும் புள்ளியில் ஏற்படும் கோணத்தைப் பொறுத்தது. சிறும திசைமாற்றம் அடையும் கதிர் மட்டுமே அக எதிரொளிப்புக்கு உள்ளாகின்றது. இக்கதிருக்கு இருபுறமும் மிகக் குறுகிய இடைவெளியில் அமையும் கதிர்களும் கிட்டத்தட்ட சிறுமதிசை மாற்றத்தைக் கொண்டவை எனக் கொள்ளலாமாகையால், அக் கதிர்களும் அக எதிரொளிப் படைகின்றன. மற்ற திசைகளில் படும் கதிர்கள் பல திசைகளில் சிதறுகின்றன. எனவே சிறுமதிசை மாற்றமடையும் படுகதிர்களினு லேயே வானவில் தோன்றுகின்றது எனலாம்.

(அ) முதல் நிலை வானவில் :

படம் 7.11 ஐக் கொண்டு முதல் நிலை வானவில்லின் தோற் றத்தை விவரிக்கலாம். ஒரு கோள நீர்த் துளியைக் கருதுவோம். அதன் பரப்பின்மீது B என்னுமிடத்தில் படும் AB என்னும் ஒளிக் கதிரைக் கருதுவோம். B-யில் விலகலுக்குப் பின்னர் கதிர் BC

என்னும் திசையில் செல்கின்றது. கதிர் BC-யானது C-யில் அக எதிரொளிக்கப்பட்டு CD திசையில் செல்கின்றது. D என்னும் புள்ளியில் மீண்டும் விலகல் அடைந்து DE திசையில் வெளிப்படு



படம் 7.11. முதல் நிலை வானவில் ஏற்படுதலுக்கான விளக்கம்

கின்றது. படுபுள்ளி B-யில், படுகோணம் i எனவும், விலகுகோணம் r எனவும் கொண்டால், கதிர் AB-யானது $(i-r)$ கோண அளவு திசை மாற்றமடைகின்றது. புள்ளி C-யில் கதிர் BC அடையும் திசைமாற்றம் $(180 - 2r)$ ஆகும். மீண்டும் D-யில் கதிர் அடையும் விலகல் $(i-r)$ ஆகும்.

எனவே மொத்த திசைமாற்றம் $= 2(i - r) + (180 - 2r)$.

$\therefore$ திசைமாற்றம் δ எனில், $\delta = 180 + 2i - 4r$ (1)

சமன்பாடு (1)-லிருந்து திசைமாற்றம் δ, படுகோணம் i-ஐப் பொறுத்தது என்பது தெளிவு. பெரும அல்லது சிறும மதிப்புக் களுக்கு திசைமாற்றக் கோணம் δ மாறிலியாக இருக்கும். அதாவது $d\delta = O$ ஆகும். எனவே சிறும திசைமாற்றத்திற்கு, திசைமாற்றக் கோணம் δ-வின், i-ஐப் பொறுத்த பகுனி காண (Differentiating),

$$\frac{d}{di}(180 + 2i - 4r) = 0 \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது $$2 - 4\frac{dr}{di} = 0$$

அல்லது $$\frac{dr}{di} = \frac{1}{2} \qquad (2)$$

μ நீர்த்துளியின் ஒளிவிலகல் எண் எனில்,

$$\frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \mu \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $$\text{சைன் } i = \mu \text{ சைன் } r$$

பகுனிகாண, $$\text{காஸ் } i\ di = \mu \text{ காஸ் } r.\ \ dr \qquad (3)$$

சமன்பாடுகள் (2), (3) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{dr}{di} = \frac{\text{காஸ் } i}{\mu \text{ காஸ் } r} = \frac{1}{2}$$

அல்லது,

$$2 \text{ காஸ் } i = \mu \text{ காஸ் } r \qquad (4)$$

சமன்பாடு (4)-ன் இருமடி (Square) காண,

$$4 \text{ காஸ்}^2 i = \mu^2 \text{ காஸ்}^2 r$$

$$= \mu^2 (1 - \text{சைன்}^2 r$$

$$= \mu^2 \left(1 - \frac{\text{சைன்}^2 i}{\mu^2}\right)$$

$$\left[\because \text{ சைன் } r = \frac{\text{சைன் } i}{\mu}\right]$$

$$4 \text{ காஸ்}^2 i = \mu^2 - \text{சைன்}^2 i$$

$$3 \text{ காஸ்}^2 i = \mu^2 - (\text{சைன்}^2 i + \text{காஸ்}^2 i)$$

$$= \mu^2 - 1$$

$$\text{காஸ்}^2 i = \frac{\mu^2 - 1}{3}$$

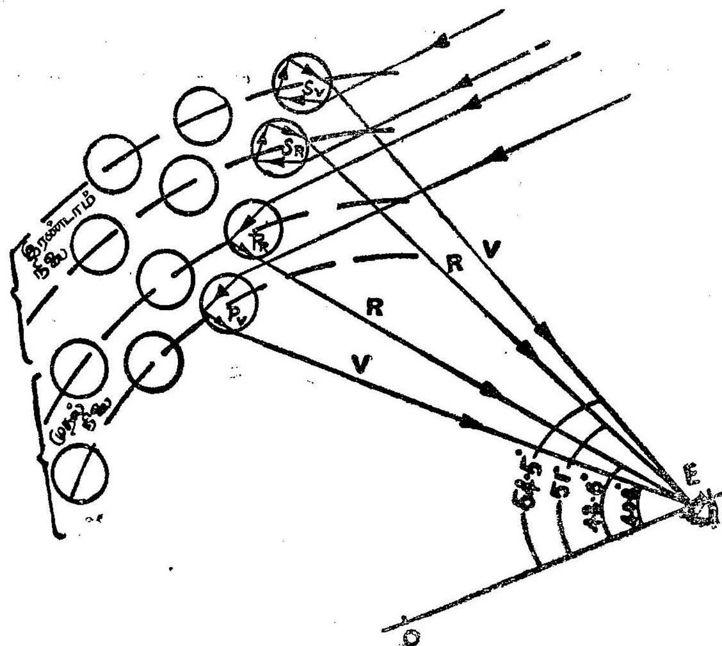
$$\text{காஸ் } i = \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{3}} \qquad (5)$$

இச் சமன்பாடு (5), சிறும திசைமாற்றத்திற்கு கதிர் கொள்ள வேண்டிய படுகோணத்தின் மதிப்பைக் கொடுக்கின்றது. i-ன் இம் மதிப்பு, μ-வைப் பொறுத்து அமைந்துள்ளது. ஆனல் μ-வின் மதிப்பு நிறத்திற்கு நிறம் மாறுபடும். எனவே i-ன் மதிப்பும் நிறத் திற்கு நிறம் மாறுபடும். சிகப்பு நிறத்திற்கு நீரின் μ மதிப்பு 1.329-ம், ஊதா நிறத்திற்கு 1.342-ம் ஆகும். எனவே சிகப்பு நிறத் திற்கு படுகோணம் $i = 59.6°$-யும், திசைமாற்றம்

$\angle FGE = 137.4°$ அல்லது $\angle AGE = 42.6°$ ஆகவும் இருக்கும். ஊதா நிறத்திற்கு படுகோணம் 58.8°-ம் திசைமாற்றம் 139.2°-யும், $\angle AGE = 40.8°$ ஆகவும் இருக்கும். படம் 7.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோன்று, ஒருமுறை அக எதிரொளிப்பு அடையும் கதிர்கள்

படம் 7.12.

எல்லாம் ஒரு செங்கோண வட்டக் கூம்பில் (Right circular cone) படம் 7.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமையும். கூம்பின் அரைக்குத்துக் கோணம் (Semivertical angle) சிகப்பு நிறத்திற்கு $(180 - 139.2) = 40.8°$ ஆக இருக்கும். அதாவது ஏற்படும் திசைமாற்றங்கள் 137.4° முதல் 139.2° வரை ஏற்படுவதனுல் ED என்னும் திசையில் கிடைமட்டத்துடன் கிட்டத்தட்ட 41° ஏற்றக் கோணத்தில் பார்த்தால், சிகப்பு மேல் பக்கமும், ஊதா கீழ்பக்கமும் அமைந்து, மற்ற நிறங்கள் இவைகளுக்கிடையேயும் தோன்றும். சிகப்பு, ஊதா இரண்டு நிறங்களுக்கும் இடைப்பட்ட கோண அகலம் (Angular width) 2° ஆக இருக்கும். இதேபோன்று படம் 7.11-ல் AB-க்கு வெகு அருகில் அமையும் எல்லா இணைக்கதிர்களுக்கும், படுகோணம் i சிறிதளவு மாறுபட்டாலும், கதிர் AB-ஐப்போன்றே நீர்த்துளியினுள் திசைமாற்றமும், நிறப்பிரிகையும் அடையும். மேலும் வெளிப்படும் ஒரு நிறக் கதிர்கள் எல்லாம் இணையானவைகளாக அமையும். படம் 7.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு கண்ணில் கிட்டத்தட்ட 41° கோணத்தைத் தாங்குமாறு ஒரே குத்துக்கோட்டில் அமையும் P_R, P_V போன்ற பல நீர்த்துளிகள், அல்லது அடுத்தடுத்து

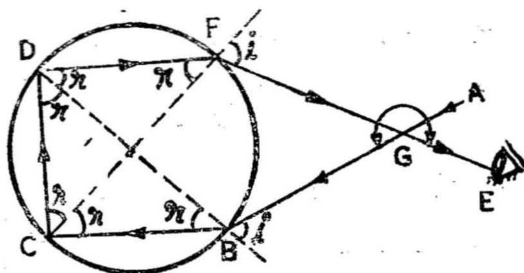


படம் 7.13.

அமையும் நீர்த்துளிகள், அவற்றின்மீது படும் கதிர்களை மேலே விவரித்துள்ளபடி நிறப்பிரிகை அடையும்படிச் செய்கின்றன. எனவே $i = 59.6^\circ$ படுகோணத்தில் விழும் கதிர்கள் ஒளிமிக்க ஊதாக் கதிர்களைக் கொடுக்கின்றன. குறிப்பிட்ட படு கோணத்தில் எல்லா நீர்த்துளிகளின்மீதும் ஒளிக்கதிர்கள் படவேண்டுமெனில் நீர்த்துளிகள் எல்லாம் ஒரு வட்ட வில்லின் மீது அடுத்தடுத்து அமையவேண்டும். அப்பொழுதுதான் பல துளிகளிலிருந்து வரும் ஒரே நிறக்கதிர்கள் ஒரு வில்வடிவை ஏற்படுத்த முடியும். எனவே தனித்துநின்று பார்க்கும் இருவர் ஒரே வானவில்லைப் பார்க்க இயலாது என்பது தெளிவு. பார்ப்பவரின் கண் E-ஐயும் வட்டவில்லின் மையம் O-வையும் இணைக்கும் கோடு EO வில்லின் அச்சாகும். அந்நிலையில் நீர்த்துளிகளின் மேல் படும் கதிர்கள் இவ்வச்சிற்கு இணையானவைகளாக இருக்கும்.

(ஆ) இரண்டாம் நிலை வானவில் :

ஒளிக்கதிரானது, நீர்த்துளியின் கீழ்ப்பக்கமாகப் பட்டு, இரண்டு அக எதிரொளிப்புக்குள்ளாகும்பொழுது இரண்டாம் நிலை வான வில் உண்டாகின்றது. படம் 7.14-ல் AB என்னும் படுகதிர், BC திசையில் விலகலடைகின்றது.



படம் 7.14. இரண்டாம் நிலை வானவில் ஏற்படுதலுக்கான விளக்கம்

பின்னர் C, D என்னும் இரு புள்ளிகளிலும் எதிரொளிக்கப்படு கின்றது. இறுதியாக F-ல் இரண்டாவது முறையாக விலக லடைந்து FG திசையில் கண்ணை அடைகின்றது.

மொத்த திசை மாற்றம் δ எனில்,

$$\delta = i - r + (180 - 2r) + (180 - 2r) + (i - r)$$

$$\delta = 360 + 2i - 6r \qquad (1)$$

ஆகும்.

சிறும திசை மாற்றத்துக்கு $d\delta = 0$ ஆகும்.

எனவே,

$$\frac{d}{di}(360 + 2i - 6r) = 0$$

அல்லது

$$6\frac{dr}{di} = 2$$

அல்லது

$$\frac{dr}{di} = \frac{1}{3} \qquad (2)$$

ஆகும்.

ஆனால்,

$$\mu = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$$

அல்லது

$$\mu \text{ சைன் } r = \text{சைன் } i$$

பகுனிகாண,

$$\mu . \text{ காஸ் } r . \frac{dr}{di} = \text{காஸ் } i$$

$$\frac{dr}{di} = \frac{\text{காஸ் } i}{\mu \text{ காஸ் } r} \qquad (3)$$

சமன்பாடு (2), (3) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{\text{காஸ் } i}{\mu \text{ காஸ் } r} = \frac{1}{3}$$

$$\text{காஸ்}^2 \, i = \frac{\mu^2 \text{ காஸ்}^2 \, r}{9}$$

$$9 \text{ காஸ்}^2 \, i = \mu^2 (1 - \text{சைன்}^2 \, r)$$

$$= \mu^2 - \mu^2 \text{ சைன்}^2 \, r$$

$$= \mu^2 - \text{சைன்}^2 \, i$$

$$[\because \quad \mu \text{ சைன் } r = \text{சைன் } i]$$

எனவே,

$$8 \text{ காஸ்}^2 \, i = \mu^2 - (\text{சைன்}^2 \, i + \text{காஸ்}^2 \, i)$$

$$= \mu^2 - 1$$

$$\text{காஸ்}^2 \, i = \frac{\mu^2 - 1}{8}$$

$$\text{காஸ் } i = \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{8}}$$

சிகப்பு நிறத்திற்கு நீரின் ஒளிவிலகல் எண்ணை 1.329 எனக் கொண்டால், திசைமாற்றக் கோணம்

$$\delta = 360^\circ - 129.2^\circ$$

$$= 230.8^\circ$$

குறுங்கோணத்தின் மதிப்பு,

$230.8 - 180 = 50.8^\circ$ ஆகும்.

ஊதா நிறக் கதிருக்கு $\mu = 1.342$ எனக் கொண்டால்,

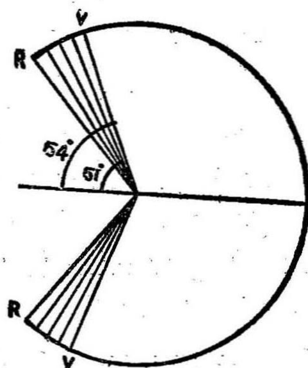
திசை மாற்றக் கோணம்

$$= 360^\circ - 125.48^\circ = 234.52^\circ \text{ ஆகும்.}$$

குறுங்கோணம் (Acute angle) $= 234.52^\circ - 180^\circ$

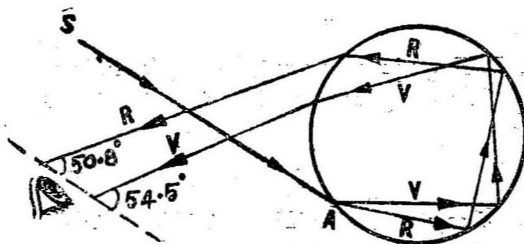
$= 54.52^\circ$ ஆகும்.

எனவே இருமுறை எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்கள் எல்லாம் சிகப்பு, ஊதா நிறங்களின் வெளிக் கோணங்கள் முறையே 50·8°, 54·5° கொண்ட கூம்பாக 7·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமையும்.



படம் 7.15.

ஊதா நிறத்திற்கு அதிக ஏற்றக் கோணமும், சிகப்பு நிறத்திற்கு குறைந்த ஏற்றக் கோணமும் உண்டாவதால் இரண்டாம் நிலை வானவில்லில் ஊதா மேல் பக்கமும், சிகப்பு கீழ் பக்கமும் அமையும். படம் 7.16. இதனைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றது.



படம் 7.16.

இரண்டாம் நிலை வானவில், முதல் நிலை வானவில்லுக்கு மேல் தோன்றும். இவ் வில் 3.5° கோண அகலம் கொண்டிருக்கும். கதிர்கள் நீர்த் துளிகளில் நீண்ட பாதை கொண்டிருப்பதுடன் இரண்டு அக எதிரொளிப்புகளுக்கு உள்ளாவதினால் பொலிவுகுன்றி தோன்றும். படம் 7.13-ல் S_V, S_R என்னும் நீர்த்துளிகளில் ஒளிக் கதிர்கள் நிறப்பிரிகை அடைந்து இரண்டாம் நிலை வான வில்லானது வில்வடிவமாக அமைவது காட்டப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 6° விலகு கோணம் கொண்ட பட்டகமொன்று கிரவுன் கண்ணாடியினாலானது. அதன் ஒளிவிலகல் எண் 1·52 ஆகும். இப் பட்டகம் 1·63 ஒளிவிலகல் எண் கொண்ட பிளின்ட் கண்ணாடி யால் செய்யப்பட்ட பட்டகத்துடன் இணைத்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விணைப்பின்மேல் குத்துத் திசையில் படும் கதிரொன்று திசை மாற்றமில்லாமல் சென்றால், பிளின்ட் பட்டகத்தின் விலக்கு கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

கிரவுன் கண்ணாடிப் பட்டகத்திற்கு

$$\mu = 1{\cdot}52 \; ; \; A_1 = 6^\circ$$

பிளின்ட் கண்ணாடிப் பட்டகத்திற்கு

$$\mu' = 1{\cdot}63 \; ; \; A_2 = ?$$

திசை மாற்றம் இல்லாமையால், இரண்டு பட்டகங்களும் ஏற்படுத்தும் திசை மாற்றம் $= O$ ஆகும்.

$$\therefore \quad (\mu - 1)\, A_1 + (\mu' - 1)\, A_2 = O$$

$$A_2 = -\frac{\mu - 1}{\mu' - 1} \cdot A_1$$

$$= \frac{1{\cdot}52 - 1}{1{\cdot}63 - 1} \times 6^\circ$$

$$= 5^\circ \text{ (கிட்டதட்ட)}$$

(2) C, D, F ஒளிக்கதிர்களுக்கு கிரவுன் கண்ணாடி, பிளின்ட் கண்ணாடி ஆகியவைகளுக்கு ஒளிவிலகல் எண்கள் கீழே கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.

	C	D	F
கிரவுன்	1·527	1·530	1·535
பிளின்ட்	1·790	1·795	1·806

இருவகைக் கண்ணாடிகளுக்கும் பிரிதிறன்களைக் கணக்கிடுக.

கிரவுன் கண்ணாடிப் பட்டகத்தின் விலக்கு கோணம் 9° எனில், திசைமாற்றம் இல்லாமல் நிறப்பிரிகை மட்டும் ஏற்படும் வகையில் பிளின்ட் கண்ணாடிப் பட்டகம் கிரவுன் கண்ணாடிப் பட்டகத்துடன் இணைக்கப்பட்டால், பிளின்ட் பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

கிரவுன் பட்டகத்திற்கு,

$$\mu_C = 1{\cdot}527;\ \mu_F = 1.535;$$

மைய ஒளிவிலகல் எண் $\mu_D = 1{\cdot}530$

$$\text{பிரிதிறன் } \omega_1 = \frac{\mu_F - \mu_C}{\mu_D - 1}$$

$$= \frac{1{\cdot}535 - 1{\cdot}527}{1{\cdot}530 - 1}$$

$$= \frac{0{\cdot}008}{0{\cdot}530}$$

$$= 0{\cdot}015.$$

பிளின்ட் கண்ணாடிப் பட்டகத்திற்கு.

$$\mu_C = 1{\cdot}790;\quad \mu_F = 1{\cdot}806;\quad \mu_D = 1{\cdot}795$$

$$\therefore\ \text{பிரிதிறன் } \omega_2 = \frac{1{\cdot}806 - 1{\cdot}790}{1{\cdot}795 - 1}$$

$$= \frac{0{\cdot}016}{0{\cdot}795}$$

$$= 0{\cdot}02$$

மையக் கதிருக்குத் திசை மாற்றம் ஏற்படாமல் இருக்க நிபந்தனை,

$$(\mu_D - 1) A_1 + (\mu'_D - 1) A_2 = O$$

$$\therefore\ A_2 = \frac{-(\mu_D - 1)}{(\mu'_D - 1)} \cdot A_1$$

$$= \frac{1{\cdot}530 - 1}{1{\cdot}795 - 1} \times 9^\circ$$

$$= 6^\circ \text{ ஆகும்.}$$

(3) 20 செ.மீ. குவியம் கொண்ட குவி வில்லையொன்று 0·025 பிரிதிறன் கொண்ட பொருளால் செய்யப்பட்டுள்ளது. சிகப்பு நிறக் கதிருக்கான குவியத்திற்கும், ஊதா நிறக் கதிருக்கான குவியத்திற்குமான இடைவெளியைக் கணக்கிடுக.

$$f = 20 \text{ செ.மீ.} \quad \omega = 0{\cdot}025$$

$$\therefore \quad f_r - f_v = \omega f = 20 \times 0{\cdot}025$$

$$= 0{\cdot}5 \text{ செ.மீ.}$$

(4) பிரிதிறன் 0·045 கொண்ட பிளின்ட் கண்ணுடியால் செய்யப்பட்ட வில்லையொன்று, 75 செ.மீ. குவியதூரம் கொண்ட கிரவுன் கண்ணுடி குவிவில்லையொன்றுடன் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. கிரவுன் கண்ணுடியின் பிரிதிறன் 0·021. பிளின்ட் கண்ணுடி வில்லையின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

இரு வில்லைகளின் இணைப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி அற்றதாக அமைய,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = O \text{ என்பது நிபந்தனையாகும்.}$$

இங்கு $\omega_1 = 0{\cdot}021, \quad \omega_2 = 0{\cdot}045$

$$f_1 = 75 \text{ செ.மீ. } f_2 = ?$$

$$\therefore \quad \frac{0{\cdot}021}{75} + \frac{0{\cdot}045}{f_2} = O$$

$$f_2 = -\,75 \times \frac{0{\cdot}045}{0{\cdot}021}$$

$$= \frac{-\,1125}{7}$$

$$= -\,160{\cdot}7 \text{ செ.மீ.}$$

எனவே 160.7 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட பிளின்ட் குழி வில்லை இணைக்கப்பட வேண்டும்.

இணைப்பின் குவிய தூரம் f எனில்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$= \frac{1}{75} - \frac{7}{1125}$$

$$= \frac{8}{1125}$$

$$f = \frac{1125}{8} = 140.6 \text{ செ. மீ.}$$

(5) சிகப்பு, நீல நிறக் கதிர்களுக்கு கிரவுன் கண்ணாடியில் ஒளி விலகல் எண்கள் முறையே 1.517, 1.523, ஆகும். பிளின்ட் கண்ணாடிக்கு இம் மதிப்புகள் முறையே 1.650, 1.664 ஆகும். 50 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட "நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை" அமைக்க, இணைப்பில் அமையும் வில்லைகளின் குவிய தூரங்களைக் கணக்கிடுக.

கிரவுன் கண்ணாடிக்கு :

$$\mu_b = 1.523$$

$$\mu_r = 1.517$$

எனவே மையக் கதிருக்கு,

$$\mu_1 = \frac{\mu_b + \mu_r}{2}$$

$$= \frac{1.523 + 1.517}{2}$$

$$= 1.520$$

$$\therefore \text{ பிரிதிறன் } \omega_1 = \frac{\mu_b - \mu_r}{\mu_1 - 1}$$

$$= \frac{1.523 - 1.517}{1{\cdot}520 - 1}$$

$$= \frac{0.006}{0.520}$$

$$= \frac{6}{520} = \frac{3}{260} = \frac{1}{87} \text{ (கிட்டத்தட்ட)}$$

பிளின்ட் கண்ணாடிக்கு :

$$\mu_b = 1.664 ; \mu_r = 1.650$$

$$\mu_2 = \frac{1.664 + 1.650}{2}$$

$$= 1{\cdot}657$$

பிரிதிறன் ω_2

$$= \frac{1.664 - 1.650}{1.657 - 1}$$

$$= \frac{0.014}{0.657} = \frac{14}{657}$$

$$= \frac{1}{47} \text{ (கிட்டத்தட்ட)},$$

$$f = 50 \text{ செ. மீ.}$$

$$\therefore \frac{1}{50} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

மேலும்,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = O$$

அல்லது,

$$\frac{1}{87 f_1} + \frac{1}{47 f_2} = O$$

அல்லது,

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{47}{87 f_1}$$

$$\therefore \frac{1}{50} = \frac{1}{f_1} - \frac{47}{87 f_1}$$

$$\therefore f_1 = 23 \text{ செ. மீ. (குவிவில்லை)}$$

எனவே,

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{47}{87 f_1} = \frac{47}{87 \times 23}$$

$$= -\frac{47}{2001}$$

$$\therefore f_2 = -\frac{2001}{47} = -42.6 \text{ செ. மீ. (குழிவில்லை)}$$

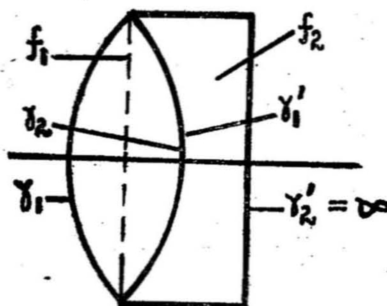
எனவே 23 செ.மீ. கொண்ட கிரவுன் கண்ணாடி குவி வில்லையும் 42.6 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட பிளின்ட் கண்ணாடி குழி வில்லையும் பயன்படுத்தல் வேண்டும்.

(6) தொலைநோக்கியொன்றிற்கு, 1 டைஆப்டர் (Dioptre) திறன்கொண்ட நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய மட்டக்குவி வில்லையொன்றை கொடுக்கப்பட்டுள்ள குறிப்புகளைக்கொண்டு அமைக்கவும்.

மையக் கதிருக்கு ஒளிவிலகல் எண்		பிரிதிறன்
கிரவுன் கண்ணாடி	1.50	0.011
பிளின்ட் கண்ணாடி	1.63	0.022

டைஆப்டர் என்பது, மீட்டரில் கொடுக்கப்படும் குவிய தூரத்தின் தலைகீழ் விகிதமாகும். எனவே, 1 டைஆப்டர் திறன்கொண்ட வில்லை 100 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்டதாக இருக்கும்.

f_1 என்பதைக் குவிவில்லையின் குவிய தூரமென்றும், f_2 என்பதைக் குழி வில்லையின் குவிய தூரமென்றும் கொள்வோம்



படம்

ப்டம் 7.17-ல் வில்லைத் தொகுப்பின் குவிய தூரம் $f = 100$ செ.மீ.

$$\frac{1}{100} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \tag{1}$$

மேலும் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கு,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = O$$

அல்லது,

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{0.011}{0.022} \cdot \frac{1}{f_1}$$

$$= -\frac{1}{2f_1}$$

இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடுசெய்ய,

$$\frac{1}{100} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{2f_1}$$

அல்லது,

$$f_1 = 50 \text{ செ. மீ. (குவிவில்லை)}$$

எனவே,

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{1}{2f_1}$$

$$= -\frac{1}{2 \times 50}$$

$$\therefore \quad f_2 = -100 \text{ செ. மீ. (குழிவில்லை)}$$

அடுத்து வளைவு ஆரங்களைக் கணக்கிடவேண்டும். இவ்வகை இரட்டையில் ஒரு இரு புறக் குவி வில்லையும், ஒரு மட்டக் குழி வில்லையும் இருக்கும்.

மட்டக் குழிவில்லையின் வளைவு ஆரங்கள் :

$$\mu = 1.63 ; f'_2 = -100 \text{ செ. மீ.}; r_2' = \infty ; r'_1 = ?$$

$$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1'} - \frac{1}{r_2'}\right)$$

$$-\frac{1}{100} = (1.63 - 1)\left(\frac{1}{r_1'}\right)$$

$$= \frac{0.63}{r_1'}$$

$$\therefore \quad r_1' = -100 \times \cdot 63$$

$$= -63 \text{ செ. மீ.}$$

அதாவது வளைபரப்புக் குழிவாக இருக்கும்.

இரு குவி வில்லை :

$$\mu = 1.50 ; f_1 = 50 ; r_2 = r'_1 = 63 ; r_1 = ?$$

$$\frac{1}{50} = (1{\cdot}5 - 1)\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{63}\right]$$

$$\frac{1}{50} = 0{\cdot}5\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{63}\right]$$

அதாவது

$$\frac{1}{25} = \left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{63}\right]$$

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{25} - \frac{1}{63}$$

$$r_1 = 41{\cdot}1 \text{ செ. மீ.}$$

7) குவிய தூரங்கள் முறையே 8 செ. மீ., 4 செ. மீ. கொண்ட ஒரே பொருளாலான இரண்டு இருபுறக் குவிவில்லைகளின் தொகுப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமைய வேண்டுமெனில் அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு என்ன இருக்கவேண்டும்.

$$f_1 = 8 \text{ செ. மீ.}$$

$$f_2 = 2 \text{ செ. மீ.}$$

இடைவெளியை a எனக் கொள்வோம். நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கு,

$$a = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$= \frac{8 + 4}{2}$$

$$= 6 \text{ செ. மீ.}$$

அவ்விரு வில்லைகளும் ஒன்றுக்கொன்று 6 செ. மீ. இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட வேண்டும்.

8) ஒளிவிலகல் எண் 1.32 கொண்ட கோளமொன்றின்மீது கதிரொன்று படுகின்றது. ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் கோளத்தினுள் ஒருமுறை அக எதிரொளிப்பு அடைகின்றது. கதிர் அடையும் திசை மாற்றத்தையும், சிறும திசைமாற்றத்திற்கான படுகோணத்தையும் கணக்கிடுக.

ஒருமுறை அக எதிரொளிப்பு அடையும்பொழுது,

$$\text{காஸ் } i = \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{3}}.$$

$$= \sqrt{\frac{(1.32)^2 - 1}{3}}$$

$$\text{காஸ் } i = 0.4969$$

$$i = 60^\circ\, 12'$$

மேலும்,

$$\frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \mu$$

எனவே,

$$\text{சைன் } r = \frac{\text{சைன் } i}{\mu}$$

$$= \frac{0.8674}{1.32}$$

$$= 0.6561$$

$$\therefore \quad r = 41^\circ$$

$$\therefore \quad i = 60^\circ, r = 41^\circ$$

எனக் கொள்வோம்.

$$\text{திசை மாற்றம் } D = 2\,(i - r) + (180 - 2r)$$

$$= 2\,(60 - 41) + (180 - 82)$$

$$= 2 \times 19 + 98$$

$$D = 136^\circ \text{ ஆகும்.}$$

வினாக்கள்

1. பட்டகத்தின் பிரிதிறன் என்றால் என்ன? பட்டகத்தின் பிரிதிறனை ஆய்வின் மூலம் காணும் முறையை விவரிக்க.

2. பட்டகங்களை முறையே,

   (அ) நிறப்பிரிகை ஏற்படாமல் திசைமாற்றம் மட்டும் ஏற்படும் வகையிலும்,

   (ஆ) திசைமாற்றம் இல்லாமல் நிறப்பிரிகை மட்டும் ஏற்படும் வகையிலும்,

   அமைக்கும்பொழுது சரிசெய்யப்பட வேண்டிய நிபந்தனைகளைப் பெறுக.

3. இரண்டு மென் பட்டகங்களைத் திசை மாற்றமில்லாமல் நிறப்பிரிகை மட்டும் ஏற்படும் வகையில் அமைப்பதற்கான நிபந்தனையைப் பெறுக. இவ்வகைப் பட்டகங்களின் செயல் முறை முக்கியத்துவத்தை விளக்குக.

4. நிறப்பிறழ்ச்சி என்ருல் என்ன?
நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கு,

(அ) இரண்டு வில்லைகள் ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு இணைந்தும்,

(ஆ) ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு இடைவெளி விட்டும் அமைக்கப்படும் பொழுது சரிசெய்யப்பட வேண்டிய நிபந்தனைகளைப் பெறுக.

5. நிறப் பிறழ்ச்சியானது, வில்லையொன்றின் பருப்பொருளின் பிரிதிறன், வில்லையின் பொதுக் குவிய தூரம் இவைகளால் அளக்கப்படுகின்றது எனக்காட்டுக.

6. முதல் நிலை, இரண்டாம் நிலை வானவில்களின் நிறங்கள் அமைந்துள்ள விதத்தை விளக்குக. தேவைப் படும் குறிக்கோவைகளை முறைப்படி பெறுக.

7. 10° விலக்குக் கோணம் கொண்ட கிரவுன் கண்ணடிப் பட்டகமொன்றுடன் பிளின்ட் கண்ணடிப் பட்டகமொன் றைச் சேர்த்து நேர்முகப் பட்டகமொன்றை அமைக்க வேண்டும். கீழ்க்காணும் மதிப்புகளைக் கொண்டு பிளின்ட் கண்ணடிப் பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணத்தைக் கணக்கிடவும்.

கிரவுன் கண்ணடி $\mu_D = 1.5,\ \omega_1 = 0.015$

பிளின்ட் கண்ணடி $\mu'_D = 1.60,\ \omega_2 = 0.025$

மேலும் தொகுப்பில் நீல, சிகப்பு நிறங்களுக்கு ஏற்படும் திசை மாற்றங்களின் கோண வேறுபாட்டையும் கணக்கிடவும்.

[$A_2 = 8.4^\circ\ D_b - D_r = 0.051^\circ$]

8. பிரிதிறன்கள் முறையே 0.2; 0.4 கொண்ட கிரவுன், பிளின்ட் கண்ணடிகளினுல் செய்யப்பட்ட இரு வில்லைகள் நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய தொகுப்பாக 20 செ.மீ. கூட்டு குவியதூரம் கொண்டு செயல்படுகின்றன. இவ்விரு வில்லைகளின் குவிய தூரங்களின் மதிப்புகளைக் கணக் கிடுக.

[$f_1 = 10$ செ.மீ. $f_2 = -20$ செ.மீ.]

9. ஒரு தொலைநோக்கியின் பொருளருகு வில்லை, நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரு வில்லைகளின் தொகுப்பாகவும்,

150 செ. மீ. குவிய தூரமுடையதாகவும் இருக்கின்றது. இரு வில்லைகளிலொன்று 1.6 விலகலெண்ணைக்கொண்ட சமதளக் குழிவில்லை. மற்றது 1.5 விலகலெண் கொண்ட இருபுறக் குவி வில்லை. அவைகளின் பருப்பொருள்களின் பிரிதிறன்கள் முறையே 0.027,0.018 என்றால், அவ்விரு வில்லைகளின் வளைவு ஆரங்களைக் காண்க.

[குழிவில்லை $r_1' = 45$ செ.மீ.; $r_2' = \infty$
குவி வில்லை $r_1 = 56.25$ செ.மீ.,
$r_2 = 45$ செ. மீ.]

10. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லையொன்று 100 செ. மீ. குவிய தூரம் இருக்குமாறு அமைக்கவேண்டும். கிரவுன், பிளின்ட் கண்ணாடிகளின் பிரிதிறன்கள் முறையே 0.01, 0.02 எனில் தொகுப்பில் அமையும் வில்லைகளின் குவிய தூரங்களைக் கணக்கிடுக.

கிரவுன், பிளின்ட் வில்லைகளுக்கு மையக் கதிருக்கான ஒளிவிலகல் எண்கள் முறையே 3/2, 5/3 எனில், வில்லை களில் ஒன்று குழி வில்லையெனில், இருபுறக் குவி வில்லை யின் வளைவு ஆரங்களைக் கணக்கிடுக.

[$f_1 = 50$ செ. மீ.; $f_2 = -100$ செ. மீ.
$r_1 = 40$ செ. மீ.; $r_2 = 66\frac{2}{3}$ செ. மீ.]

8. நிறம்

8.1. கண்ணும் நிறமும்

உலகிலுள்ள பொருள்கள் ஆக்கப்பட்டுள்ள பருப்பொருளின் (Material) ஒரு தன்மையே நிறம் எனப்படும். ஆனால் நிறம் என்பது கண்ணின் பாகங்களில், சில அலைநீளம் கொண்ட ஒளி படுவதினால் ஏற்படும் கிளர்வு (Stimulus) மூளையில் ஏற்படுத்தும் ஒருவகை உணர்வேயாகும். கண்ணின் விழித் திரையின் அமைப்பை நுண்ணோக்கி கொண்டு ஆராயுங்கால், தண்டுகள் (Rods) போன்ற அமைப்பும் கூம்புகள் (Cones) போன்ற அமைப்பும் காணப்படுகின்றன. சூரிய ஒளிபோன்ற பொலிவு மிக்க ஒளியில் பார்வைக்குக் காரணமாக உள்ளவை கூம்புகள் போன்ற அமைப்புகள் என்றும், சந்திர ஒளிபோன்ற மங்கலான ஒளியில் பார்வைக்குக் காரணமாக உள்ளவை தண்டுகள் போன்ற அமைப்புகள் என்றும் கண்டுள்ளனர்.

மங்கிய ஒளியில் நிறத்தைப் பிரித்தறிய இயலாது. எனவே பொலிவுமிக்க ஒளியில் மட்டும் செயல்படும் கூம்பு போன்ற பாகங்களே கண்ணின் நிறம் பிரித்தறியும் தன்மைக்குக் காரணமானவை ஆகும். விழித்திரையின் போவியா (Fovea) பகுதி பிரிதிறன் மிக்கதாக உள்ளது. இப்பகுதியில் கூம்பு வடிவ அமைப்புகள் மிக அதிக எண்ணிக்கையில் நெருக்கமாக அமைந்துள்ளதே இதற்குக் காரணமாகும். மேலும் இப்பகுதியே நிறப்பார்வைக்குப் (Colour vision) பயன்படுகின்றது என்ற கொள்கையும் உண்டு. இதனால் நிறப்பார்வைக்கு 2° கோண அளவு பார்வைப்புலம் மட்டுமே பயன்படுகின்றது. போவியா அமைந்துள்ள பகுதியில் விழித்திரை மஞ்சள் நிறப்பொருளால் சூழப்பட்டுள்ளது. இம் மஞ்சள் நிறப்பொருள் நிறப்பார்வைக்கு பெரிதும் உதவுகின்றது என்னும் கொள்கையும் உண்டு.

கண்ணின் நிற உணர்வு முற்றிலும் மாறுபட்ட மூன்று வகை பிரித்தறியும் தன்மைகளைக் கொண்டுள்ளது. முதலாவது "நிறம்

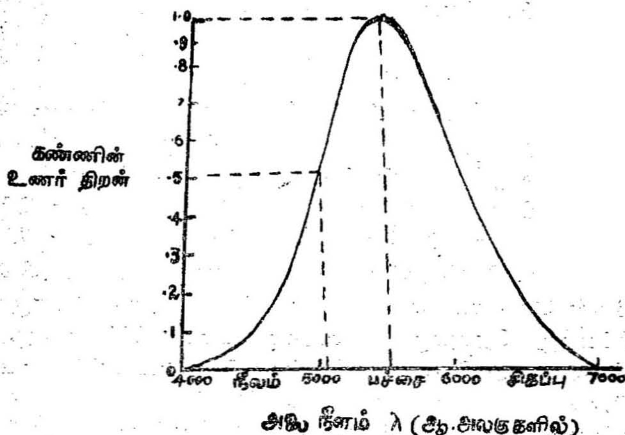
பகுத்தல்'' (Hue) எனப்படும். இத் தன்மையால் ஒரு நிறத்தை மற்றதிலிருந்து பிரித்தறியலாம். அதாவது சிகப்பு, பச்சை என்று பிரித்தறிதல். இரண்டாவது "பொலிவு'' (Brightness) உணர்வு என்பதாகும். இதனால் ஒரே நிறத்தில் நிறஅடர்வுமிக்க (Darker) பகுதியினின்று, நிறஅடர்வு குறைந்த (Lighter) பகுதியைப் பிரித்தறிய இயலும். மூன்றாவது "தெவிட்டல்'' (Saturation) என்பதாகும். அதாவது ஒற்றைநிற ஒளியைப் போன்று தனி நிறம் முழுமை அடைதல். சூரிய ஒளியின் நிற மாலையில் அமைந்துள்ள நிறங்கள் முழுமையான அல்லது தெவிட்டிய நிறங்கள் ஆகும். எனவே நிறத்தெவிட்டல் அளவு நிர்ணயிக்க வேண்டிய இடங்களில் சூரிய ஒளியில் அமையும் நிறத்தின் மதிப்பு படித்தரமாகக் (Standard) கொள்ளப்படுகிறது.

வெள்ளொளி, பட்டகத்தின் வழியாகச் செல்லும் பொழுது அதனுடைய ஆக்கக்கூறுகளாகப் பிரிகின்றது என பகுதி 7.2-ல் படித்தோம். நமக்குக் கிடைக்கக்கூடிய ஒளியில், சூரிய ஒளிதான் முழுமையாக எல்லா நிறங்களையும் கொண்டுள்ளது. மேலும், கண்ணின் அமைப்பானது, சூரிய ஒளியில் கண்ணுறு பகுதியில் அமைந்துள்ள ஏழு நிறங்கள், அல்லது அவ்வேழு நிறங்களின் கலவையால் உண்டாகும் நிறங்களை மட்டுமே பார்க்கும் திறன் கொண்டதாக உள்ளது. கண்ணுறு பகுதியில் அமையும் ஏழு நிறங்களின் நெடுக்கங்களைக் (Ranges) கீழுள்ள அட்டவணை காட்டுகின்றது.

நிறம்	நெடுக்கம்
ஊதா	3900—4300 ஆ. அ.
நீலம்	4300—4600 ,,
நீலப்பச்சை	4600—5000 ,,
பச்சை	5000—5700 ,,
மஞ்சள்	5700 – 5900 ,,
வெளிர் மஞ்சள் (Orange)	5900—6100 ,,
சிகப்பு	6100—7000 ,,

8.2. ஞாயிறு நிறமாலையின் பகுதிகள் கண்ணில் ஏற்படுத்தும் விளைவு

பொருளொன்றின் பொலிவுத்தோற்றம் கண்ணில் புகும் ஒளியாற்றல்—கால வீதத்தைப் பொறுத்தது. அத்துடன் கண்ணினுள் வரும் ஒளியின் நிறத்தையும் பொறுத்தது. மிகு சிகப்பு, அல்லது மிகு ஊதா நிறங்கள் கண்ணுக்கு மங்கலாகத் தோன்றுகின்றன. இவ்வகை நிறங்களுக்கு கண் உணர்வு மிக்கதாக இல்லாமையே காரணமாகும். அலைநீளம் 5500 ஆ. அ. கொண்ட ஆப்பிள் பச்சைநிற ஒளிக்கு கண் மிக்க உணர்வு கொண்டதாக அமைந்துள்ளது. வெவ்வேறு நிற (பல அலைநீள) பகுதியில் அமையும் ஒளி கண்ணில் ஏற்படுத்தும் உணர்வு திறன்களை படம் 8.1-ல் காணலாம்.



படம் 8.1.

படம் 8.1-ல் இருந்து 5100 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட, நீல நிறத்திற்குப் பார்வைத்திறன் 0·5 ஆக உள்ளது. பச்சை நிறத்திற்குப் பார்வைத்திறன் 1.0 ஆக உள்ளது. எனவே பச்சை நிறத்தின் அளவுக்குப் பொலிவுள்ளதாக நீலநிறம் அமைய, பச்சை நிறத்தின் ஒளி ஆற்றலைப்போன்று நீல நிறம் இரு மடங்கு ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். அல்லது நீல நிறத்தின் அளவுக்குப் பொலிவை ஏற்படுத்த, பச்சை நிறம் நீல நிறத்தின் ஒளி ஆற்றலில் பாதி அளவு கொண்டிருந்தால் போதுமானது. ஒரு வாட் (Watt) திறனில் 5500 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட பச்சை நிற ஒளி, 660 லூமன் (Lumen) ஒளிப்பாயத்தைக் கொடுக்கின்றது. [ஒளிப்பாயத்தை அளக்கும் அலகு லூமன் ஆகும்.] எனவே, ஒரு வாட் திறன் கொண்டு பெறக்கூடிய பெரும ஒளிப்பாயம் 660

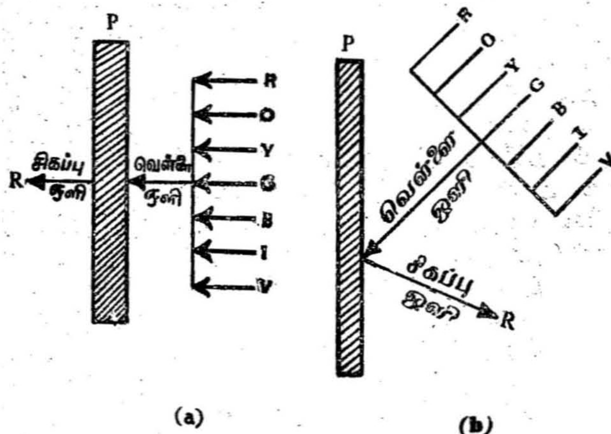
லூமன்களை என்பது தெளிவு. [ஒளி மூலங்களைப் பற்றிய பகுதி-11.19-ல் இக் கருத்து தெளிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது.] கண்ணின் உணர்திறன், நீல நிறத்திற்குப் பச்சை நிறத்தைப் போன்று பாதியளவே இருப்பதால், ஒரு வாட் திறன் கொண்டு (0 5×660, 330 லூமென்கள் ஒளிப்பாயத்தையே பெற இயலும் மேலும் 1 வாட் திறன் கொண்டு (0.3×660) 198 லூமென்கள் சிகப்பு ஒளிப்பாயத்தையே பெற இயலும். இவைகளிலிருந்து பச்சை நிற ஒளி கண்ணுக்குப் பொலிவான உணர்வைக் கொடுக்கின்றது என்பது தெளிவு. மேலும், கண்ணுறு நிறமாலையின் இரு முனைகளான ஊதா, சிகப்பு ஆகியவற்றிற்கு பார்வை உணர்வு மிகவும் குறைவாக உள்ளது. புற ஊதா (Ultra-violet), புறச் சிகப்பு (Infra-red) ஆகிய பகுதிகள் கண்ணில் எவ்வித உணர்வையும் உண்டாக்குவதில்லை.

8.3. தன் ஒளியிலாப் பொருள்களின் நிறங்கள்

சூரிய ஒளி உண்டாக்கும் நிறமாலையை ஒத்த சம ஆற்றல் கொண்ட நிறமாலையை வெளிவிடும் ஒளிமூலமொன்றால், பொருளொன்று ஒளியூட்டப்படுவதாகக் கொள்வோம். படும் ஒளியில் உள்ள எல்லா அலைநீளங்கள் கொண்ட ஒளிக் கதிர்களையும், சம அளவில் பொருள் எதிரொளித்தால். அப்பொருள் வெண்மையாகத் தோன்றும். அவ்வாறில்லாமல், சில அலை நீளங்கள் கொண்ட கதிர்களை எதிரொளித்தால் பொருளானது நிறம்பெற்று தோன்றும். உதாரணமாக் 6000 ஆ.அ. அலை நீளத்தைவிட அதிகமான அலைநீளம் கொண்ட கதிர்களை மட்டுமே எதிரொளிக்கும் பொருளாக இருந்தால், அது சிகப்பாகத் தோன்றும். மாறாக 5000 ஆ.அ. அலை நீளத்தைவிட அதிக அலை நீளம் கொண்ட கதிர்களுக்கு அதிகமான எதிரொளிப்புத் தன்மையும் குறைந்த அலைநீளங்களுக்கு குறைந்த எதிரொளிப்பு தன்மையும் கொண்டிருக்குமானால், அப்பொருள் மஞ்சளாகத் தோன்றும்.

படம் 8.2(a)-ல் உள்ளது போன்று சிகப்புக் கண்ணாடி P-யின் மூலம் வெள்ளொளியைப் பார்ப்போமேயானால், சிகப்பு நிறம் மட்டுமே தெரிகின்றது. கண்ணாடி இச் சிகப்பு நிறத்தைக் கொடுப்பதில்லை. மாறாக, வெள்ளொளியில் உள்ள மற்ற எல்லா நிற ஆக்கக் கூறுகளையும் (Colour components) உட்கவர்ந்து, சிகப்பு நிறத்தை மட்டுமே ஊடுருவிச் செல்ல விடுவதனால் கண்ணாடி சிகப்பாகத் தோன்றுகிறது. இதனை மெய்ப்பிக்க, பட்டகத்தின் வழியாக வெள்ளொளி செல்லும்பொழுது உண்டாகும் நிறமாலையைத் திரையொன்றில் பிடிக்கவும்.

சிகப்புக் கண்ணாடியொன்றை நிறமாலையை உண்டாக்கும் ஒளியின் பாதையில் வைத்தால், மற்ற எல்லா நிறங்களும் மறைந்து சிகப்பு நிறம் மட்டும் உண்டாவதைப் பார்க்கலாம். மேலும் ஒளியின் பாதையில் சிகப்பு நிறக் கண்ணாடியை அடுத்து ஒரு



படம் 8.2.

நீல நிறக் கண்ணாடியை வைத்தால் நிறமாலையின் எல்லா நிறங்களும் மறைகின்றன. கண்ணாடி நிறத்தை உண்டாக்குகிறது என்று கொண்டால், சிகப்பு, நீலம் இரண்டும் சேர்ந்த சேர்க்கை கருஞ்சிவப்பு (Purple) நிறமாக இருக்கவேண்டும். ஆனால் கிடைப்பது கருமை நிறம் ஆகையால், வெள்ளொளியினாலேயே நிறங்கள் உண்டாகின்றது என்பது தெளிவு.

இதேபோன்று ஒரு சிகப்பு நிறத்தாள் P-யை வெள்ளொளியால் பார்த்தால் [படம் 8.2 (b)], சிகப்புத்தாள் சிகப்பு நிறத்தை மட்டும் எதிரொளிக்கின்றது; மற்றவைகளை உட்கவர்கின்றது. எனவே சிகப்பு நிறம் உண்மையிலேயே வெள்ளொளியிலிருந்து வந்த போதிலும், பொருள் சிகப்பாகத் தோன்றுகிறது. இருட்டறையில் ஒரு சிகப்புத்தாள் பொருத்திய திரையின் மீது, வெள்ளொளியின் நிறமாலையை வீழ்த்தினால் சிகப்புப் பகுதி மட்டுமே புலனாகின்றது. மேலும் பாதரச ஆவி விளக்கினால் சிகப்புத்தாளைப் பார்த்தால் மங்கிய சிகப்பு நிறமாகத் தெரியும். ஏனெனில் பாதரச ஆவி விளக்கு, மிகக் குறைந்த அளவு சிகப்பு நிற ஒளியையே வெளிவிடுகின்றது. இதனால் சிகப்பு நிறத்தாள் அதனை ஒளியூட்டும் ஒளியில் சிகப்புநிறம் இருந்தால் மட்டுமே சிகப்பாகத் தோன்ற முடியும் என்பது தெளிவு. சோடியம் ஆவி விளக்கு மஞ்சள் நிற ஒளியை மட்டுமே கொண்டுள்ளது. எனவே

இந்த ஒளியால் பார்க்கப்படும் பொருள்கள் மஞ்சள் நிறத்தை எதிரொளித்தால், மஞ்சளாகத் தோன்றும். எதிரொளிக்காமல், மஞ்சள் நிறத்தை உட்கவருபவையாக இருப்பின் கருமையாகத் தோன்றும். இதனால் நிறங்கொண்ட பொருள்கள் வெள்ளொளி மூலம் பார்க்கப்படும் பொழுது அவற்றின் உண்மையான நிறங்களுடன் தோன்றும். மற்றநிற ஒளி மூலம் பார்க்கப்படும் பொழுது, அவற்றின் உண்மையான நிறங்களுடன் தோன்ரு. இது நிற உருக்குலைவு (Colour distortion) எனப்படும். ஒளிரும் குழல் விளக்குகள் (Flourescent tubular lamps) சிகப்பு நிறத்தைக் காட்டிலும் நீல நிறத்தை அதிகமாக வெளிவிடுகின்ற காரணத்தால், அவைகளின் மூலம் பார்க்கப்படும் பொருள்கள் நிற உருக்குலைவு பெற்றுத் தோன்றுகின்றன. ஆனால் தற்காலத்தில் நண் பகல் நேர சூரிய ஒளியின் அளவுக்கு நிற ஒளிப் பகுதிகளைக் கொண்ட, நிறங்கள் ஈடுசெய்யப்பட்ட (Colour compensated) விளக்குகள் உள்ளன. அவற்றின் மூலம் எந்த நேரத்திலும், பகல் நேரத்தில் பொருள்களைப் பார்ப்பது போன்றே அவற்றின் உண்மையான நிறத் தோற்றங்களுடன் பார்க்க இயலும். இவ்வகை விளக்குகள் மூலம் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ள தொழிற்சாலைகளில், பகல் இரவு வேறுபாடின்றி உற்பத்தி பெருகுவதுடன், பொருள்களின் தரம் மாருமலும் இருக்கும்.

8.4. ஒளி வடிப்பான்கள்

பொருள்களின் வழியே கதிர் வீச்சுக்கள் செல்லும் பொழுது, கதிர்வீச்சிலுள்ள சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்கள் கொண்ட பகுதியை உட்கவர்ந்து, மற்ற பகுதியை ஊடுருவிச் செல்லுமாறு செய்கின்றன. எல்லாப் பொருள்களும் சில பகுதிகளில் அமையும் குறிப்பிட்ட அலை நீளம் கொண்ட கதிர்களைப் பெருமளவு உட்கவர்கின்றன. அப்படி உட்கவரும் கதிர்கள் கண்ணுறு பகுதியில் அமையுமானல் அப் பொருள்கள், உட்கவராமல் ஊடுருவிச் செல்லுமாறுவிடும் அலைநீளங்கள் ஏற்படுத்தும் நிறத்துடன் தோன்றும். வெள்ளொளி கண்ணுறு பகுதியான 4000 ஆ.அ. முதல் 7000 ஆ.அ. வரை உள்ள எல்லா அலைநீளங்களையும் கொண்டுள்ளது. ஒளிபுகும் ஊடகமொன்றின் வழியாக வெள்ளொளி செல்லும் பொழுது, அவ்வூடகம் 6100 ஆ.அ. அலை நீளத்திற்கும் குறைவான அலைநீளம் கொண்ட எல்லாக் கதிர்களையும் உட்கவரும் தன்மை கொண்டது எனில், வெளிவரும் ஒளிக்கற்றை சிகப்பு நிறமாக இருக்கும். இதனுல் அதன்வழியே ஊடுருவி வரும் ஒளியினுல் அப் பொருளைப் பார்த்தால், அப் பொருளும் சிகப்பு நிறமாகத் தோன்றும்.

இப்படி பொருள்கள் கண்ணுறு பகுதியில் குறிப்பிட்ட அலை நீளங்கள் கொண்ட பகுதியை உட்கவரும் தன்மையை அடிப் படையாகக் கொண்டு அமைக்கப்பட்டவை ஒளி வடிப்பான்கள் (Filters) ஆகும். எனவே குறிப்பிட்ட நிறம் கொண்ட ஒளியை மட்டும் பெறுவதற்கு வெள்ளொளி ஒளிமூலமொன்றின் முன்னல், தேவையான நிறப்பகுதியைத் தவிர மற்ற எல்லா நிறப் பகுதி களையும் உட்கவரும் தன்மை கொண்ட பொருளொன்றினல் ஆன மென்படலத்தை வைக்க வேண்டும். பெரும்பாலும் இந்த மென் படலம் கண்ணுறுபகுதி முழுவதையும் ஊடுருவிச் செல்லுமாறு செய்யும் கண்ணுடிபோன்ற பொருளின் மீது ஒட்டப்பட்டிருக்கும். எனவே ஒளி வடிப்பான் என்பது, ஒளி ஊடுருவிச் செல்லக் கூடி யதும், ஒளி மூலத்திற்கும், ஒளி செயல்படவேண்டிய புள்ளிக்கும் இடையில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒளி புகுமொருவ் ஊடகமாகும்.

ஜிலேட்டின், கண்ணுடி, செல்லுலோஸ் அசிடேட் ஆகியவைகள் பெரிதும் ஒளி வடிப்பான்களில் பயன்படுத்தப்படும் பொருள்களாகும். கண்ணுடிச் சிமிழில் (Cell) வைக்கப்பட்ட நிறம் கொண்ட திரவங்களும் சில நேரங்களில் ஒளி வடிப்பான்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நிறம் ஏற்றப்பட்ட ஜிலேட்டின் தகடுகள் படவியல் துறை (Photogrophy)யில் வண்ணப் படங்கள் எடுப்பதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நாடக நடன மேடை களில் நிறமூட்டப்பட்ட ஜிலேட்டின் தகடுகள் நிறங்களை மாற்றுவதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நிறம் கொடுக்கும் சில கனிம (Ino ganic) வேதியல் பொருள்கள் கொண்ட கண்ணுடி ஒளிவடிப்பான்களும் பெரிதும் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. கண்ணுடி ஒளிவடிப்பான்கள், ஜிலேட்டின் ஒளி வடிப்பான்களைவிட விலை அதிகமானவை. ஆனல் நீடித்து உழைக்கக் கூடியவை. ஜிலேட்டினின் மீதுள்ள நிறம் விரைவில் மங்கிவிடும் ஆகையால், அடிக்கடி மாற்றவேண்டி யிருக்கும். கண்ணுடி வடிப்பான்கள் சில சமயங்களில் மிகவும் குறைந்த திறன் கொண்டவையாக இருக்குமாதலால், ஒளிமூலம் நான்கு அல்லது ஐந்து மடங்கு ஒளிமிக்கதாக இருந்தால்தான் சில நிறங்களுக்குத் தேவையான ஒளியூட்டம் ஏற்படும். இதனல்தான் ஜிலேட்டின் வடிப்பான்கள் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆய்வுக் கூடங்களில் பயன்படும் ஒளி வடிப்பான்கள் பெரும்பாலும் கண்ணுடியினல் செய்யப்பட் டவைகளாகவே இருக்கும்.

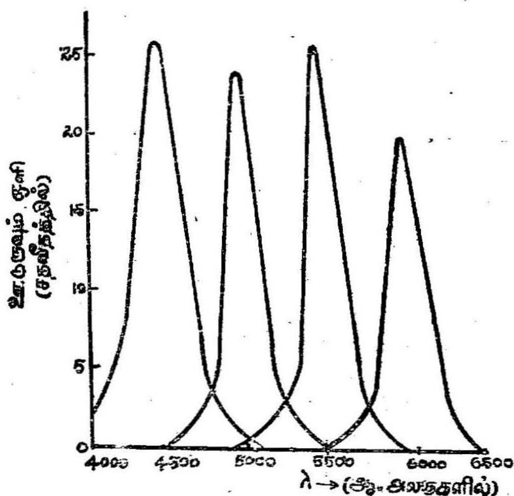
கிருஷ்டியன் சென் வடிப்பான்கள்

நன்கு பொடிசெய்யப்பட்ட ஒரு திடப்பொருள், அதனுடைய ஒளிவிலகல் எண்ணுக்குச் சமமான ஒளிவிலகல் எண்ணையும்

வேறுபட்ட நிறப்பிரிகையும் கொண்ட திரவத்தினுள் வைக்கப் பட்டிருக்கும்பொழுது, ஒரு குறுகிய பகுதி ஒன்றில் அமையும் அலை நீளங்கள் கொண்ட ஒளிக் கதிர்களுக்கு மட்டும் திடப்பொருளும், திரவமும் ஒரு படித்தானவைபோல் செயல்படும். மற்ற அலை நீளங்கள்கொண்ட ஒளிக் கதிர்களை சிதறிச் செல்லுமாறு செய்கின் றன. கிருஷ்டியன்சென் கண்ட இந்த உண்மையை அடிப்படை யாகக்கொண்டு அமைக்கப்படும் வடிப்பான்கள் அவர் பெயரையே கொண்டுள்ளன. இவ்வகை வடிப்பான்கள் மிகவும் குறுகிய பகுதி யில் அமையும் ஒளிக்கதிர்களை மட்டுமே ஊடுருவிச் செய்ய வல்லவை யாகையால், நிறமாலையியலில் (Spectroscopy) பெரிதும் பயன்படு கின்றன. மேலும் புறஊதா, கண்ணுறு பகுதி, புறச்சிகப்பு ஆகிய எல்லா அலைநீளங்களிலும் இவ்வகை வடிப்பான்களைப் பயன் படுத்தலாம்.

ஒளி குறுக்கீடு வடிப்பான்கள் :

ஒளி குறுக்கீடு (Interference) தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஒற்றைநிற ஒளி வடிப்பான்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவ்வகை வடிப்பான்கள் பகுதி-ஊடுருவல் (Partial transmission) கொண்ட மெல்லிய உலோகத் தகடுகளுக்கு இடையில் மின்



படம் 8.3.

கடத்தாப் (Dieletric) பொருளொன்றின் மென்படலத்தைக் கொண் டவையாக இருக்கும். இவ்வமைப்பு முழுவதும் ஒரு கண்ணடித் த்கட்டின்மீது பொருத்தப்பட்டு வடிப்பானகப் பயன்படுத்தப்படும்.

இவ்வகை வடிப்பான்களில் அவற்றின் வழியே ஊடுருவும் ஒளிக் கதிர்கள் அமையும் பகுதி மிகக் குறுகியதாக இருக்கும். இவற்றின் வழியே ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளியின் அளவிற்கும், அலைநீளத் திற்கும் இடையே வரையப்பட்ட வரைகோடுகள் படம் 8.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

வரைகோடுகள் கூர்மையான உச்சிகளைக் கொண்டுள்ளமையால் குறுகிய பகுதிகளில் அதிகத் திறன்கொண்டு செயல்படக்கூடியவை என்பது தெளிவு. இவ்வகை வடிப்பான்களில் உட்கவர்தல் ஏற்படுவதில்லை. எனவே, ஊடுருவிச் செல்லாத ஒளிக்கதிர்கள், ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்படுவதைப் போன்று எதிரொளிக்கப் படும். சில இடங்களில் இவ்வகை எதிரொளிப்பு குறைபாடாக அமையும்.

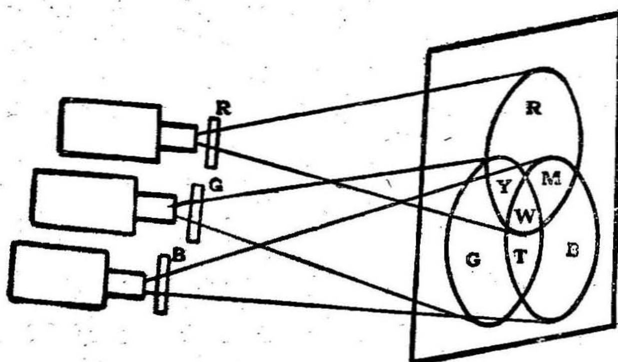
தளவிளைவுற்ற ஒளி (Polarised light) ஏற்படுத்தும் குறுக்கீடு களைப் பயன்படுத்தியும் ஒளிவடிப்பான்கள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன.

8.5. நிறக் கலவைகள்—நிறக் கூட்டுமுறை :

ஒளி அலைகளும், ஒலி அலைகளைப்போன்று அவற்றின் அதிர் வெண் (Frequency)களைப் பொறுத்தவையாகும். வெவ்வேறு அதிர் வெண்களைக்கொண்ட இரண்டு ஒலி அலைகள் செவியை அடையும் பொழுது, செவியானது அவற்றைப் பிரித்தறிகின்றது. ஆனால் ஒரே நேரத்தில் இரண்டு நிறங்கள் கண்ணைச் சேர்ந்தால், கண்ணி னால் அவ்விரண்டு நிறங்களையும் பிரித்தறிய இயலாது. மாறாக, நிறமாலையில், அவ்விரு நிறங்களுக்கிடைப்பட்ட, அவ்விரு நிறங் களும் கூடியதொரு நிறத்தையே கட்புலன் உணர்கின்றது. ஆராய்ச்சியாளரின் கூற்றுப்படி செவி பகுத்துணரும் புலன் (Analytical sense) ஆகவும், கண் தொகுத்துணரும் புலன் (Synthetic sense) ஆகவும் அமைந்துள்ளதே இதன் காரணமாகும்.

கிளார்க் மாக்ஸ்வெல்(Clark Maxwell)சிகப்பு,பச்சை,நீலம் ஆகிய மூன்று நிற ஒளியினைக்கொண்டு, அவற்றின் வெவ்வேறு அளவு களைக் கலப்பதின் மூலம் பலவகைப்பட்ட நிறங்களை உண்டாக்க இயலுமென ஆய்வுகளின் மூலம் கண்டு கூறினார். இம் முறையில் நிறங்களைப் பெற மூன்று நிற ஒளிக் கதிர்களையும் ஒன்றின்மேல் ஒன்று பொருந்தும்படி செய்தலே போதுமானது. இதற்கு எந் நிறமும் இல்லா நிலையிலிருந்து, நிற ஒளிக் கதிர்களை ஒன்றுடன் ஒன்று கூட்டுவது ஆகும். எனவே இவ்வகையில் நிறக் கலவை (Colour mixture) உண்டாக்கல், நிறக் கூட்டுமுறை (Colour additive method) எனப்படும். இம் முறையில் நிறம் உண்டாக்க-

நிறம்கொண்ட பொருள்களைக் (Colour pigments) கலப்பது அல்ல என்பது கவனிக்கத்தக்கது. நிறக் கூட்டுமுறையில் நிறங்களை உண்டாக்க ஏற்றவை, 7000 ஆ. அ., 5461 ஆ. அ., 4358 ஆ. அ. அலைநீளங்கள் கொண்ட கதிர் வீச்சுகளாகும். இம்முறையில் உண்டாக்கப்படும் நிறங்கள் தெவிட்டலற்றவைகளாக இருக்கும். கூட்டுமுறையில் நிறம் உண்டாக்குதலைப் படம் 8.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்றதொரு அமைப்பினைக் கொண்டு தெளிவாக விளக்கலாம். மூன்று வீழ்த்திகள் (Projectors) மூலம் திரை



படம் 8.4.

யொன்றின்மீது வட்ட வடிவ ஒளிப்பட்டைகள் (Light patches) ஏற்படுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. அவ் வீழ்த்திகளுக்கு முன்னல் முறையே சிகப்பு, பச்சை, நீல நிற வடிப்பான்கள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனுல் முதல் வீழ்த்தியிலிருந்து சிகப்பு வட்டமும், இரண்டாவது வீழ்த்தியிலிருந்து பச்சை வட்டமும், மூன்ருவது வீழ்த்தியிலிருந்து நீல வட்டமும் திரையின்மீது ஏற்படுகின்றன. படம் 8.4-ல் உள்ளதுபோன்று வெவ்வேறு நிறங்கள் வெவ்வேறு பகுதிகளில் மேற்பொருந்துகின்றன. சிகப்பும் பச்சையும் மேற்பொருந்தும் பகுதியில் மஞ்சள் நிறம் உண்டாகின்றது. எனவே சிகப்பு + பச்சை = மஞ்சள் என எழுதலாம்.

மேலும் படத்திலிருந்து,

சிகப்பு + நீலம் = மஜந்தா (Magenta)

நீலம் + பச்சை = டார்குவாஸ் (Tarquoise)

ஆகிய நிறங்கள் உண்டாகின்றன.

சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய மூன்று நிறங்களும் மேற்பொருந்தும் மையப் பகுதியில் வெண்மைநிறம் உண்டாகின்றது. இந்த

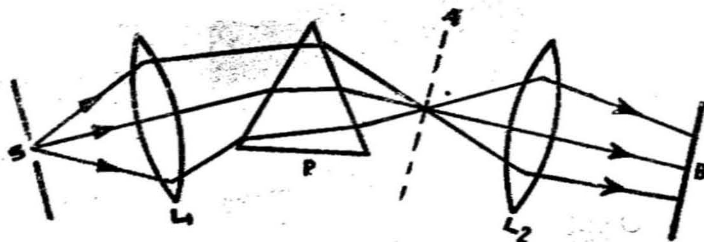
மூன்று நிறங்களையும் கொண்ட ஒளியலைகளை மேற்பொருந்துமாறு செய்வதினால் கண்ணுறு பகுதியில் ஊதா நிறத்திலிருந்து சிகப்பு நிறத்திற்குள் அமையும் எல்லா நிறங்களையும் பெறமுடியும். நிறக் கூட்டு முறையை விளக்கும் வகையில் நூலின் அட்டை வண்ணத்தில் அமைந்துள்ளது கவனிக்கத் தக்கது.

8.6. மூல நிறங்களும், நிரப்பு நிறங்களும் : (Primary and Complementary colours)

சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய மூன்று நிறம் கொண்ட ஒளியினை மட்டுமே பயன்படுத்தி, அவற்றின் அளவுகளை மாற்றிக் கலப்பதின் மூலம் நூற்றுக்கு மேற்பட்ட நிறங்களை உண்டாக்க முடியுமெனப் பார்த்தோம். இவ்வாறு வேறுபட்ட நிறங்களை உண்டாக்கவல்ல சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய மூன்று நிறங்களும் மூல நிறங்கள் (Primary colours) எனப்படும். கண்ணின் பார்வை முறைகளை ஆராய்ந்த வல்லுனர்கள், விழித்திரையின்மீது மூன்று வகையான செல் (Cell) அமைப்புகள் உள்ளன என்று கூறியுள்ளனர். ஒவ்வொரு வகை செல் அமைப்பும் ஒரு மூலத்திற்கு மட்டுமே கிளர்வுறும் வகையில் அமைந்துள்ளது. எனவே, தொகுபயன் கிளர்வு, தனித்தனியாக ஒவ்வொரு வகை செல் அமைப்பும் ஏற்படுத்தும் கிளர்வின் அளவினைப் பொறுத்து அமையும். இதனாலேயே மூன்று நிறங்களும் சம அளவில் கலக்கப்பட்டால் வெள்ளொளி உணர்வு உண்டாகின்றது.

நிறக்கூட்டு முறையில் ஏதாவது இரண்டு நிறங்களின் கூடுதல் மூலம் வெள்ளொளியை உண்டாக்கலாம். அப்படி வெள்ளொளியை உண்டாக்கும் இரண்டு நிறங்களும், நிரப்பு நிறங்கள் (Complementary colours) எனப்படும். நிரப்பு நிறங்கள் இரண்டின் கூடுதல், சம ஆற்றல் கொண்ட நிறமாலையாக இருக்க வேண்டியதில்லை. சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய பகுதிகளில் அமையும் மூன்று ஒற்றைநிற ஒளிக் கதிர்களின் கலவை, சம ஆற்றல் நிறமாலையைக் கொடுக்கவல்ல வெள்ளொளியாக இருக்கலாம். ஆனால் வெள்ளொளியில் நீல நிறத்தை மட்டும் நீக்கிவிட்டால் கலவை மஞ்சளாக உள்ளது. மஞ்சளுடன் நீலத்தைச் சேர்த்தால் வெள்ளொளி உண்டாக்கப்படுகின்றது. எனவே, நீலம், மஞ்சள் இரண்டும் நிரப்பு நிறங்கள் எனப்படும்.

படம் 8.5-ல் ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு S-லிருந்து ஒளிக்கதிர்கள் வில்லை L_1 மூலம் குவிக்கப்படுகின்றன. குவிக்கப்படும் கதிர்கள் பட்டகம் P-யின் வழியாக விலகலடைந்து A-யில் நிறமாலையை உண்டாக்குகின்றன. A-யில் அமைந்துள்ள திரையை நீக்கிவிட்டால் மீண்டும் ஒளிக்கதிர்கள் L_2-வின் வழியாகச் சென்று B-யில்



படம் 8.5.

வெண்மையானதொரு ஒளியூட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. நிற மாலையின் ஒரு பகுதியை மட்டும் மறைத்துவிட்டால் *B*-யில் அமை யும் ஒளியூட்டம் நிறம் கொள்கின்றது. திரையில் ஏற்படும் நிறம், மறைக்கப்பட்ட நிறமாலையின் நிறத்திற்கு நிரப்பு நிறமாக அமை கின்றது. இம் முறையினைக்கொண்டு எந்த ஒற்றை நிற ஒளிக்கும் (Monochromatic light) ஆன நிரப்பு நிறத்தைக் காண இயலும்.

8.7. நிறப்பொருள்களினைக் கொண்டு நிறம் உண்டாக்கல்—நிற நீக்க முறை :

மஞ்சள் நிறப் பொருளும், பசும் நீலப் பொருளும் சேர்ந்த கலவை பச்சை நிறத்தைக் கொடுக்கின்றது. மூன்று மூல நிறப் பொருள்களிலிருந்து,பலவகையான நிறங்கொண்ட பொருள்களைத் தயாரிக்க இயலும். விகிதப்படி நிறம் கொண்ட பொருள்களைக் (Colour pigments) கலக்கும்பொழுது கண்ணை அடையும் சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய நிறங்களின் அளவுகளின்மேல் முழு கட்டுப் பாடு வேண்டும். குறிப்பிட்டதொரு நிறம் கொண்ட பொருளானது சில அலைநீளம் கொண்ட ஒளியை எதிரொளித்து மற்ற அலைநீளம் கொண்ட ஒளி அலைகளை உட்கவர்கின்றது. ஒரு கலவையில் இப்படிப்பட்ட நிறம்கொண்ட பொருளொன்றின் அளவை மாற்றி னால், அது உட்கவரும் அலைநீளம் கொண்ட ஒளி அலைகளின் பொலிவை மாற்றலாம். ஆனால் அது எதிரொளிக்கும் கதிர் வீச்சுக் களின் பொலிவைக் குறைக்க இயலாது. இதனால், சிகப்பு, பச்சை, நீலம் பகுதிகளில் அமையும் அலைநீளங்கள் கொண்ட ஒளியை உட் கவரும் தன்மைகொண்ட பொருள்களின் அளவுகளைக் கலவையில் மாற்றுவதன்மூலம் சிகப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய ஒளிகளின்மீது கட்டுப்பாடு செலுத்த இயலும். நிறக் கூட்டு கலவை முறையில், ஒளியற்ற நிலையிலிருந்து குறிப்பிட்ட அளவுகள் கொண்ட சிகப்பு, பச்சை, நீல நிற ஒளியைக்கொண்டு நிறத்தை உண்டாக்கு

கின்றோம். ஆனால் நிற நீக்க முறையில் (Colour substractive method) எல்லா அலைநீளங்களும் கொண்ட வெள்ளொளியி லிருந்து தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட அளவு, சிகப்பு. பச்சை, நீலம் ஆகிய நிறங்கள் நீக்கப்பட்டு, இறுதி நிறம் உண்டாக்கப்படு கின்றது. இதனால் நிறம் நீக்க முறையில் உண்டாகும் கலவைகள் அல்லது மூல நிறப்பொருள்கள் சிகப்பு நீக்கிய (Minus red), பச்சை நீக்கிய (Minus green) நீலம் நீக்கிய (Minus blue) எனக் குறிக்கப் படுகின்றன. ஆனால் மூல நிறங்களின்மேல், நீக்க முறையில் அதிகக் கட்டுப்பாடு கொள்ள இயலாது. ஏனெனில் கலவையில் பங்கு பெறும் நிறப்பொருள்கள் எதிரொளிக்கும் அலைநீளங்களில் அமை யும் ஒரு பகுதி உட்கவரப்படும். மேலும் பங்குபெறும் நிறப்பொருள் களின் உட்கவரும் பகுதிகள் ஓரளவுக்கு மேற்பொருந்தி (Overlap) யிருக்கும். உதாரணமாக மஞ்சள் நிற வண்ணக் கலவை (Yellow paint) வெண்தாளொன்றின்மீது பூசப்பட்டால் ஒளிபுகும் மஞ்சள் நிற மென்படலம் உண்டாகின்றது. வெண்ணிறத்திலிருந்து, நீல நிறத்தை இக் கலவை உட்கவர்கின்றது. இதனால் வெண்தாள் சிகப்பு அல்லது பச்சை நிறத்தைத்தான் எதிரொளிக்கும். எனவே இவைகளின் கலவையான மஞ்சள் நிறம் கண்ணுக்குத் தெரி கின்றது, மஞ்சள்நீர்-வண்ணம் (Water pain) டார்க்குவாஸ் நீர்-வண்ணம் இரண்டும் கலந்த கலவையானது உட்கவராமல் விடும் பகுதி பச்சையாகும். எனவே கலவை பச்சையாகத் தோன்று கின்றது. நிறப்பொருள்களின் கலவையில் இறுதியாக இருக்கும் நிறம், வெள்ளொளியிலிருந்து நீக்கப்பட்ட நிறங்களைப் பொறுத்து அமையும். எனவே நிற நீக்க முறையில் உண்டாக்கப்படும் நிறங்கள் எவ்விதத்திலும் நிறக்கூட்டு முறையில் உண்டாக்கப் பட்ட ஒத்த நிறங்களுடன் ஒப்புமைக் கொண்டவை அல்ல.

எனவே நிறம் கொண்ட பொருள்களைக்கொண்டு கலவை தயாரிக்கும்பொழுது, தேவையான நிறத்தைத் தவிர மற்ற நிறங் களை உட்கவரும் தன்மை கொண்டவைகளாக அமையும்படி கலக்க வேண்டும். இதனால் வெள்ளொளி படும்பொழுது மற்ற நிறங்கள் எல்லாம் நீக்கப்பட்டு, தேவையான நிறம் மட்டும் கிடைக்கும்.

வினாக்கள்

1. சூரிய நிறமாலையில் அமையும் நிறங்கள் கண்ணில் ஏற்படுத்தும் உணர்திறனைப்பற்றிச் சிறு குறிப்பு வரைக.

2. ஒளிவடிப்பான்களைப்பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

நிறக் கலவை முறையில், நிறங்கள் உண்டாதலை விளக்குக.

தன் ஒளியிலாப் பொருள்கள் நிறம்கொண்டு தோன்றுவது எவ்வாறு?

நிற நீக்க முறையில், நிறங்கள் உண்டாக்கும்பொழுது மூல நிறங்களின் மீது எவ்வகையில் கட்டுப்பாடு செலுத்தப்பட்டு, நிறங்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன?

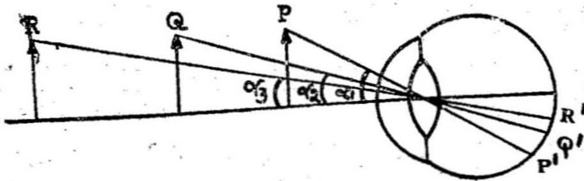
மூல நிறங்கள், நிரப்பு நிறங்கள் என்றால் என்ன?

9. ஒளியியல் கருவிகள்

9.1. ஒளியியல் கருவிகளில் முக்கியமான மூன்று பிரிவுகள் உண்டு. பொருளினுடைய உருப்பெருக்கம் அடைந்த படிவத்தைக் கண்ணுறுமாறு செய்பவை ஒரு வகை. இவை கண்ணுறு கருவிகள் (Visual instruments) எனப்படும். உதாரணமாக நுண்ணோக்கிகள், தொலைநோக்கிகள் முதலியவற்றைக் கூறலாம். மற்ற வகை பகுப்பாயவும், அளவீடுகள் செய்யவும் பயன்படும், நிறமாலைமானி (Spectrometer), நிறமாலை வரைவி (Spectroscope) போன்றவை. மூன்றும் வகையில் படவியல் துறையில் பயன்படும் காமிராக்கள், வீழ்த்திகள் போன்றவை இடம் பெறும்.

9.2. கண்ணுறு கருவிகளின் தேவை :

ஒரு பொருள் உண்மையிலேயே மிகப் பெரியதாக இருந்தாலும், மிகச் சிறியதாக இருந்தாலும் கண்ணில் ஏற்படும் படிவத்தினைப் பொறுத்தே நாம் அதனை உணர்கிறோம். கண்ணில் ஏற்படும் படிவத்தின் உருவம், அப்பொருள் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்தைப் பொறுத்து அமையும். பொருளானது கண்ணுக்கு அருகில் இருக்கும்பொழுது அதிக அளவு கோணத்தையும் அதே பொருள் கண்ணிலிருந்து விலகிச் செல்லச் செல்ல குறைந்த அளவுகோணத்தையும் தாங்கும். இதனைப் படம் 9.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பைக்கொண்டு தெளிவாகப் புரிந்துகொள்ளலாம்.



படம் 9.1.

பொருள் P-ல் இருக்கும்பொழுது கண்ணில் தாங்கும் கோணம் α_1; Q-வில் இருக்கும்பொழுது α_2; R-ல் இருக்கும்பொழுது α_3 ஆகும். இங்கு α_1, α_2, α_3 ஆகியவை பார்வைக் கோணங்கள் (Visual angles) எனப்படும். பொருள் விலகிச் செல்வதினுல் விழித் திரையில் உண்டாகும் படிவத்தின் நீளம் குறையுமென்பது படத்தி லிருந்து தெரிகின்றது. எனவே ஒரு பொருளின் உருவம் (Size) அதனுடைய பரிமாணங்களை மட்டும் பொறுத்ததல்ல. பார்வை யாளரின் கண்ணிலிருந்து உள்ள தூரத்தையும் பொறுத்தது. அதாவது பொருள் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்தைப் பொறுத்தது. எனவே குறைந்த அளவு பரிமாணங்கள் (Dimensions) கொண்ட ஒரு பொருளின் உருவத்தைப் பெரிதாக்க, கண்ணிற்கு அருகில் அதைக் கொண்டுவர வேண்டும். இதனுல் அது கண்ணில் தாங்கும் பார்வைக் கோணம் அதிகமாகும். ஆனுல் தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தை (Distance of distinct vision) [25 செ. மீ.] விடக் குறை வான தூரத்திற்குப் பொருளைக் கொண்டுவர முடியாது. அப்படிக் கொண்டு வரப்பட்டால் பொருளைத் தெளிவாக நேரடியாகப் பார்ப் பதற்கு கண்ணைத் துன்புறுத்த வேண்டியிருக்கும். ஆனுல் ஒரு குவிவில்லையைப் பயன்படுத்தினுல், தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தை விடக் குறைந்த தூரத்திற்குப் பொருளைக்கொண்டுவர முடிகின்றது. இதனுல் அது கண்ணில் தாங்கும் கோணம் அதிகரிக்கும். ஆகவே உருப்பெருக்கம் அடைந்த பொருளைப் பார்க்க முடியும்.

இதிலிருந்து உருப்பெருக்கம் செய்யும் ஒளியியல் கருவிகளின் வேலையெல்லாம், பொருளின் கண்ணில் தாங்கும் பார்வைக் கோணத்தை அதிகரிப்பதும் அதனுல் பொருளின் உருவத்தைப் பெருக்குவதுமேயாகும் என்பது தெளிவு.



9.3 உருப்பெருக்கமும், உருப்பெருக்கும் திறனும் :

உருப்பெருக்கம் (Magnification) என்பது படிவத்தின் நீளத் திற்கும், பொருளின் நீளத்திற்குமான விகிதமாகும்.

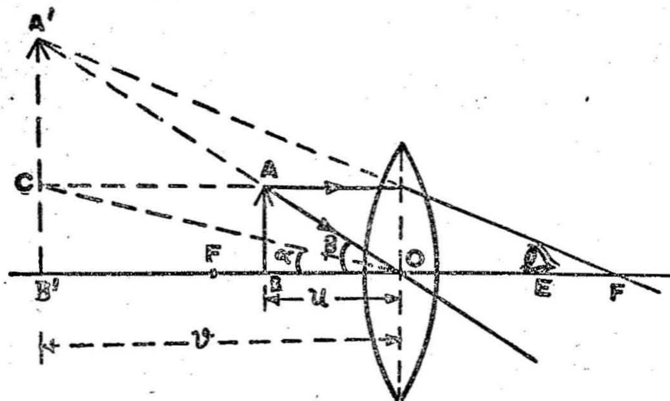
ஓர் ஒளியியல் கருவியின் உருப்பெருக்குத் திறனை,

$$\frac{\text{படிவத்தின் நீளம்}}{\text{பொருளின் நீளம்}} = \frac{\text{படிவம் கண்ணில் தாங்கும் கோணம்}}{\text{பொருள் கண்ணில் தாங்கும் கோணம்}}$$

என வரையறுக்கலாம். ஒவ்வொரு உருப்பெருக்க அமைப்பைப் பற்றிப் பார்க்கும்பொழுது அவ்வவற்றின் உருப்பெருக்கத் திறன் பற்றியும் படிக்க உள்ளோம்.

9.4. தனி நுண்ணோக்கி அல்லது உருப்பெருக்கக் கண்ணாடி:

ஒரு தனி குவி வில்லை (Convex lens) உண்மைப் பொருளொன்றின் உருப்பெருக்கம் அடைந்த படிவத்தைக் காண பயன்படும் பொழுது உருப்பெருக்கி (Magnifier) அல்லது தனி நுண்ணோக்கி எனப்படும். இதுவே மற்றொரு ஒளியியல் தொகுப்பால் (Optical system) உண்டாக்கப்பட்ட படிவத்தை உருப்பெருக்கப் பயன்பட்டால் கண்ணருகு வில்லை எனப்படும்.



படம் 9.2. தனி நுண்ணோக்கி

சோதனைச் சாலைகளில் நுண்ணிய அளவீடுகளை எடுப்பவர்களும், மணிப்பொறி செப்பனிடுபவர்களும், நகை வியாபாரிகளும் தனி நுண்ணோக்கியைப் பெரிதும் பயன்படுத்துகின்றனர். தனி நுண்ணோக்கி யொன்று வேலை செய்யும் விதத்தைப் படம் 9.2. காட்டுகின்றது.

AB என்னும் நுண்ணிய பொருளானது வில்லையின் குவியம் *F*-க்கும், ஒளி மையம் Optic centre) *O* வுக்கும் இடையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. வில்லை, பொருளினுடைய உருப்பெருக்கமடைந்த படிவம் *A'B'*-ஐ உண்டாக்குகின்றது. உண்டாகும் படிவம், நேரான மாயப் படிவமாகும். கண்ணை வில்லைக்கருகில் வைக்கும்பொழுது படிவம் உண்டாகும் இடம், தெளிவுப் பார்வைக்கான குறைந்த தூரம் (Least distance of distinct vision) *D*-க்குள் [சாதாரண கண்ணுக்கு 25 செ. மீ.] அமையுமாறு சரிசெய்யப்பட்டுள்ளது. படிவமும், பொருளும் கண்ணிலிருந்து சம தூரத்தில் (அதாவது தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தில் இருக்கும்பொழுது கண்ணில் தாங்கும் கோணங்களின் விகிதம் தனி நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்கத் திறனாகும்.

கண்ணிலிருந்து 'D' தூரத்தில் ஏற்படும் படிவம் $A'B'$ கண்ணில் தாங்கும் கோணம் β ஆகும். ஆனால் பொருள் AB, கண்ணிலிருந்து குறைந்த தூரத்தில் உள்ளது. பொருளை D தூரத்திற்கு அப்பால் கொண்டு சென்றால், அது $B'C$ அளவு இருக்கும். எனவே $B'C$ கண்ணில் தாங்கும் கோணம் α எனில், $AB = B'C$ ஆகையால் பொருள் தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தில் இருந்தால் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்தையும் α எனக் கொள்ளலாம்.

$$\text{எனவே உருப்பெருக்குத் திறன்} = \frac{\text{கோணம் } \beta}{\text{கோணம் } \alpha}$$

α, β இவைகளின் மதிப்புகள் மிகக் குறைவெனக் கொண்டால் கோணங்களுக்குப் பதில், டேன் மதிப்புகளைக் கொள்ளலாம்.

$$\text{எனவே உருப்பெருக்குத் திறன்} = \frac{\text{டேன் } \beta}{\text{டேன் } \alpha}$$

$$= \frac{\frac{AB}{u}}{\frac{CB'}{v}}$$

ஆனால் $AB = CB'$

$v = D$ ஆகும்.

$$\text{எனவே உருப்பெருக்குத் திறன்} = \frac{D}{u} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால் வில்லையின் சமன்பாடான, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$-ல், மாயப் படிவம் உண்டாகி யிருப்பதால் $v = -D$ எனப் பதிலீடுசெய்ய,

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{D} = \frac{1}{f} \text{ என கிடைக்கும்.}$$

அல்லது,

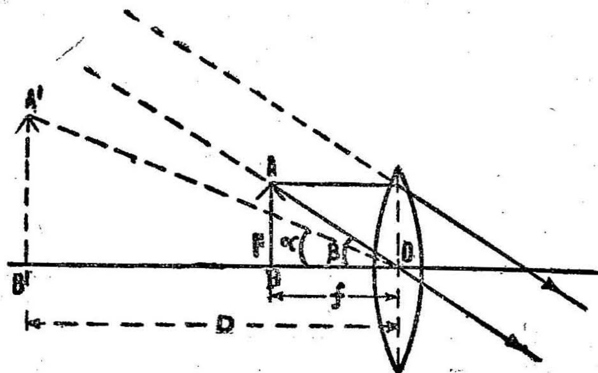
$$\frac{D}{u} - 1 = \frac{D}{f}$$

$$\therefore \frac{D}{u} = 1 + \frac{D}{f}$$

$$\text{எனவே உருப்பெருக்கத் திறன் } 'm' = 1 + \frac{D}{f}$$

$$= 1 + \frac{25}{f} \quad (D = 25 \text{ செ. மீ.}) \text{ ஆகும்.}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து குவியத் தூரம் f குறைவாக இருந்தால் உருப்பெருக்கத்திறன் அதிகமாக இருக்குமென்பது தெளிவு. நீண்டநேரம் அளவீடுகளை எடுக்கவேண்டிய இடத்தில், பொருளை வில்லையின் குவியத்தில் வைத்துப் படிவத்தை முடிவிலாத் தொலைவில் (At infin ty) ஏற்படும்படிச் செய்தால், கண்ணுனது எளிதில் பார்க்க இயலும். இதற்கான அமைப்பு படம் 9.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 9.3.

$$\text{உருப்பெருக்குத் திறன்} = \frac{\text{டேன் } \beta}{\text{டேன் } \alpha}$$

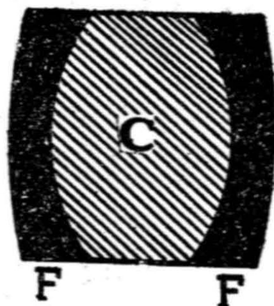
$$= \frac{\frac{AB}{f}}{\frac{A'B'}{D}}$$

$$= \frac{D}{f}$$

இதனுல் ஏற்படக்கூடிய உருப்பெருக்கம் குறைகின்றது. குறைந்த குவிய தூரம் கொண்ட வில்லையெனில், குறையும் அளவு சிறும மதிப்பாக இருக்கும்.

வில்லையின் குவிய தூரத்தை மட்டுமே வெகுவாகக் குறைக்க முடியாது. ஏனெனில் படிவத்தில் பலவிதமான குறைபாடுகள் தோன்றும். குறிப்பாகக் கோளப் பிறழ்ச்சியும், அஸ்ட்டிக்மேட்டிசமும் உண்டாகும். பார்வைப் புலத்தின் மையப் பகுதியில் நிறப் பிறழ்ச்சி ஏற்படாது. ஆனுல் விளிம்புகளில் கோளப் பிறழ்ச்சி காரணமாக பல நிறங்கள் தோன்றும். அதிக அளவு உருப்

பெருக்கம் செய்யப் பயன்படுத்தும்பொழுது நிறப் பிறழ்ச்சி, உருக் குலைவு போன்ற எல்லாக் குறைபாடுகளும் உண்டாகும். எனவே



படம் 9.4.

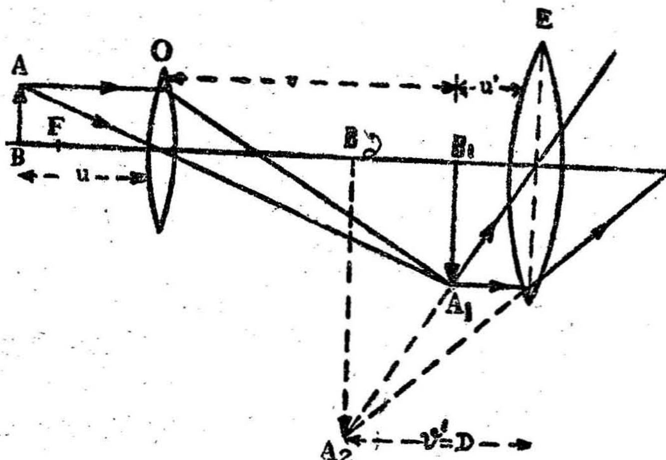
''முவ்வில்லை அப்ளநாட்'' (Triple aplanat) என்னும் வில்லை பயன் படுத்தப்படுகிறது. இஃது படம் 9.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று கிரவுன் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட இருபுறக் குவி வில்லையான C, பிளின்ட் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்டுள்ள பிறை வளை குழிவில்லைகள் F, F இவற்றின் நடுவில் பொருத்தப்பட் டுள்ளது. இதனுடைய உருப்பெருக்குத் திறன் மிகவும் அதிகமாக இருப்பதுடன் பார்வைப் புலன் அதிகப் பரப்பையும், நிறப்பிறழ்ச்சி பெரிதும் நீக்கப்பட்டும் உள்ளது.

9.5 கூட்டு நுண்ணோக்கி :

தனி நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்குத் திறனை ஒரு குறிப் பிட்ட அளவுக்குமேல் (கிட்டத்தட்ட 10) அதிகரிக்க முடியாத பொழுது வில்லைகளின் தொகுப்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது. படம் 9.5 ல் காட்டப்பட்டுள்ள இவ்வகைத் தொகுப்பு ஒன்று, கூட்டு நுண்ணோக்கி எனப்படுகின்றது.

கூட்டு நுண்ணோக்கி, ஓரச்சினைக்கொண்ட O, E என்னும் இரண்டு குவிவில்லைகளைக் கொண்டது. இவற்றில் O என்பது பொருளருகு வில்லையாகும். E என்பது கண்ணருகு வில்லையாகும். O குறைந்த குவிய தூரத்தையும், E அதிகக் குவிய தூரத்தையும் கொண்டிருக்கும். கண்ணருகு வில்லை தனி வில்லையாக இல்லாமல் குறைந்தது இரண்டு வில்லைகளைக்கொண்ட தொகுப்பாக இருக் கும். இத் தொகுப்பு கோளப் பிறழ்ச்சி, நிறப் பிறழ்ச்சி ஆகியவை களை நீக்குவதாக இருக்கும். பொருளருகு வில்லையும், கண்ணருகு

வில்லையும், பித்தளைக் குழாய்களில் பொருத்தப்பட்டு, முன்னும் பின்னும் நகர்த்தக்கூடிய அமைப்புகளுடன் ஒரு தொகுப்பாக



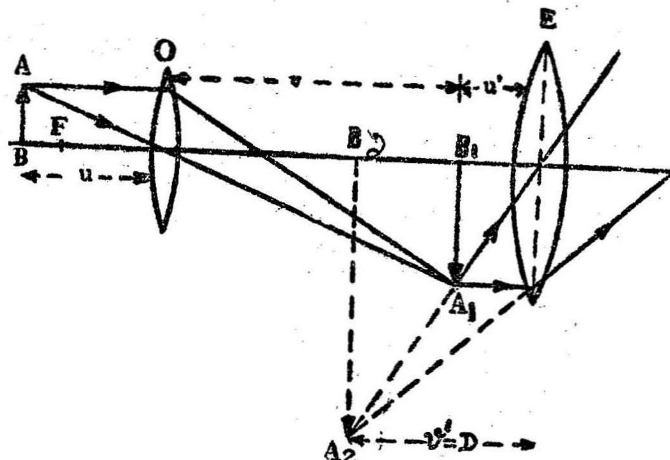
படம் 9.5.

இருக்கும். பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 16 செ. மீ. அளவில் பெரும்பாலும் இருக்கும்.

கூட்டு நுண்ணோக்கியில் இறுதிப் படிவம் ஏற்படும் முறையைக் கவனிப்போம். பொருள் AB, பொருளருகு வில்லையின் குவிய தூரத்தைவிட சற்று அதிக தூரத்தில் வைக்கப்படுகின்றது. பொருளினுடைய உண்மையான தலைகீழ் பெரிய படிவம் A_1B_1, பொருளருகு வில்லையால் உண்டாக்கப்படுகின்றது. பொருளருகு வில்லையிலிருந்து, பொருளுக்கும் படிவத்திற்குமான தூரங்களை முறையே u, v எனக் கொள்வோம்.

உண்டாகியிருக்கும் படிவம் A_1B_1 கண்ணருகு வில்லை E-யின் குவியத்திற்கும், வில்லைக்கும் இடையில் இருக்குமாறு செய்யப்படுகின்றது. இதனால் வில்லை E, A_1B_1-னுடைய உருப் பெருக்கப்பட்ட மாயப் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றது. படிவம் A_2B நிலையில் உண்டாவதாகக் கொள்வோம். வில்லை E-யிலிருந்து A_1B_1 உள்ள தூரத்தை u' என்றும், A_2B உள்ள தூரத்தை v' என்றும் கொள்வோம். மேலும் $v'=D$ [D – தெளிவுப் பார்வைத் தூரம்] என இருக்குமாறு இறுதிப்படிவம் உண்டாகின்றது. இவ்வாறு கூட்டு நுண்ணோக்கியில் பொருளின் உருப்பெருக்கமடைந்த படிவம் கிடைக்கின்றது.

வில்லையும், பித்தளைக் குழாய்களில் பொருத்தப்பட்டு, முன்னும் பின்னும் நகர்த்தக்கூடிய அமைப்புகளுடன் ஒரு தொகுப்பாக



படம் 9.5.

இருக்கும். பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 16 செ. மீ. அளவில் பெரும்பாலும் இருக்கும்.

கூட்டு நுண்ணோக்கியில் இறுதிப் படிவம் ஏற்படும் முறையைக் கவனிப்போம். பொருள் AB, பொருளருகு வில்லையின் குவிய தூரத்தைவிட சற்று அதிக தூரத்தில் வைக்கப்படுகின்றது. பொருளினுடைய உண்மையான தலைகீழ் பெரிய படிவம் A_1B_1, பொருளருகு வில்லையால் உண்டாக்கப்படுகின்றது. பொருளருகு வில்லையிலிருந்து, பொருளுக்கும் படிவத்திற்குமான தூரங்களை முறையே u, v எனக் கொள்வோம்.

உண்டாகியிருக்கும் படிவம் A_1B_1 கண்ணருகு வில்லை E-யின் குவியத்திற்கும், வில்லைக்கும் இடையில் இருக்குமாறு செய்யப்படுகின்றது. இதனால் வில்லை E, A_1B_1-னுடைய உருப் பெருக்கப் பட்ட மாயப் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றது. படிவம் $A_2 B$ நிலையில் உண்டாவதாகக் கொள்வோம். வில்லை E-யிலிருந்து A_1B_1 உள்ள தூரத்தை u' என்றும், A_2B உள்ள தூரத்தை v' என்றும் கொள்வோம். மேலும் $v' = D$ [D – தெளிவுப் பார்வைத் தூரம்] என இருக்குமாறு இறுதிப்படிவம் உண்டாகின்றது. இவ்வாறு கூட்டு நுண்ணோக்கியில் பொருளின் உருப்பெருக்கமடைந்த படிவம் கிடைக்கின்றது.

உரு பெருக்கம் :

கூட்டு நுண்ணோக்கி செயல்படும் முறையிலிருந்து, பொருளானது இரண்டு வில்லைகளிலும் உருப்பெருக்கம் அடைவது தெரிகின்றது. பொருளருகு வில்லை ஏற்படுத்தும் நீள உருப்பெருக்கம் m_1 எனில், $m_1 = \frac{v}{u}$. இதேபோல் கண்ணருகு வில்லை ஏற்படுத்தும் உருப்பெருக்கம் m_2 எனில் $m_2 = \frac{v'}{u'}$.

மொத்த உருப்பெருக்கம் M எனில்,

$$M = m_1 \, m_2 = \frac{v}{u} \cdot \frac{v'}{u'}$$

இங்கு கண்ணருகு வில்லை (Eye-lens) ஒரு தனி நுண்ணோக்கியைப் போல் செயல்படுகின்றது.

கண்ணருகு வில்லையின் குவியதூரம் f_2 எனில், அது உண்டாக்கும் உருப்பெருக்கம்,

$$m_2 = \frac{v'}{u'} = \frac{D}{u'} = 1 + \frac{D}{f_2} \text{ ஆகும்.}$$

வழக்கத்தில் u-வின் மதிப்பானது பொருளருகு வில்லையின் குவிய தூரம் f_1-க்குச் சற்றேறக்குறைய சமமாக இருக்கும். எனவே, பொருளருகு வில்லையின் உருப்பெருக்கம் $= \frac{v}{f_1}$ ஆகும். ஆக கூட்டு நுண்ணோக்கியில் உண்டாகும் மொத்த உருப்பெருக்கம்,

$$M = \frac{v}{f_1}\left(1 + \frac{D}{f_2}\right) \text{ ஆகும்.}$$

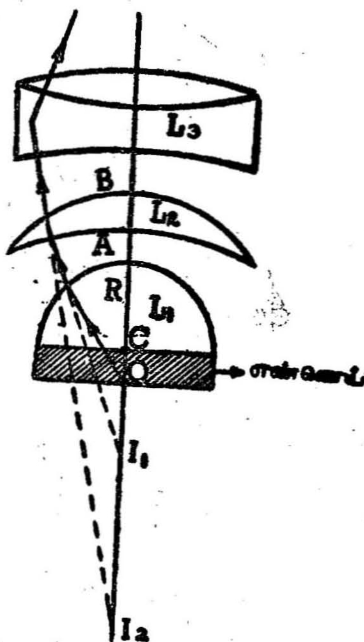
இந்த வகைக் கூட்டு நுண்ணோக்கிகளில் குறைவு திறன் கொண்டவை சுமார் 20 முதல் 40-ம், அதிகத் திறன் கொண்டவை 500 முதல் 2000 வரையும் உருப்பெருக்கம் உண்டாக்கும்.

9.6. அபேயின் எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லைகள் :

அத்தியாயம் 6-ல் பகுதி 6.7 (உ)-வில் பார்த்த 'அப்ளநாட்டிக்' புள்ளிகள், பரப்புகள் இவைகளின் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அபே (Abbe), எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லை (Oil immersion objective) ஒன்றை அமைத்தார். இப் பொருளருகு வில்லை மிக விலை உயர்ந்த நுண்ணோக்கிகளிலும், மிக

அதிக அளவு உருப்பெருக்கம் தேவையான இடங்களிலும் பயன் படுத்தப்படுகின்றது. இவ்வகை வில்லைகளைப் பயன்படுத்து வதனுல் நிறப்பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி, கோமா ஆகிய குறை பாடுகளைப் பெரிதும் குறைக்க இயலும். மேலும்,ஒளி எதிரொளிப்பில் உண்டாகும் ஒளிச்செறிவு இழப்பு குறைக்கப்படும்.

ஒரு எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லையின் அமைப்பு படம் 9.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இப் பொருளருகு வில்லையின் முதல் வில்லையான L_1 ஒரு அரைக் கோளக் குவி வில்லை யாகும். இதன் வளைவு மையம் C எனவும், அதன் ஆரம் R எனவும் கொள்வோம். இத னுடைய தட்டையான பகுதி பொருளின் பக்கம் இருக்கின் றது. பொருள் O-வை, அரைக் கோளக் கண்ணுடிக்குள் பதிக்க முடியாது. எனவே இவ் வில்லை யின் ஒளிவிலகல் எண் μ-க்குச் சமமான ஒளிவிலகல் எண் கொண்ட செடார்வுட் எண்ணெ (Cedarwood oil)-யில் பொருள் O அமிழ்த்தி வைக்கப்பட் டுள்ளது. புள்ளி O-வை வில்லை L_1-ன் அரைக்கோளப் பரப்புக்கு ஒரு அப்ளநாட்டிக் புள்ளியாகக் கொண்டு $OC = \frac{R}{\mu}$ இருக்கும் படிச் செய்தால் கோளப் பரப் பானது படிவத்தை I_1 என்னும் இரண்டாவது அப்ளநாட்டிக் புள்ளியில் $CI_1 = \mu R$ என்று இருக்குமாறு உண்டாக்கும்.



படம் 9.6.
அபேயின் எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகி

இரண்டாவது வில்லை L_2 ஒரு பிறை வடிவில் உள்ளது. இவ் வில்லை L_2-வின் கீழ்ப்பரப்பு A-க்கு, I_1 வளைவு மையமாகவும், மேல் பரப்பு B-க்கு ஒரு அப்ளநாட்டிக் புள்ளி (Aplanatic point)யாகவும் இருக்கு மாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனுல் இவ் வில்லைக்கு மாயப் பொருளாகச் செயல்படும் I_1-ல் இருந்து செல்லும் கதிர்கள் கீழ்ப் பரப்பில் விலகல் அடையாமல் செல்லும். மேல் பரப்புக்கு I_1 ஒரு அப்ளநாட்டிக் புள்ளியில் உள்ள பொருளாக அமையுமாகையால்,

மற்ருெரு அப்ளநாட்டிக் புள்ளியில் படிவத்தை உண்டாக்கும். உண்டாக்கும் படிவம் I_1-வில் ஏற்படுவதாகக் கொண்டால் I_2 தான் மற்ற அப்ளநாட்டிக் புள்ளி. இதனுல் வில்லே B-யிலிருந்து மேல் நோக்கி வரும் கதிர்கள் I_2-விலிருந்து வருவதுபோல் தோன்றும். இதேபோன்று, இன்னும் ஒன்று அல்லது இரண்டு பிறை வடிவ (Miniscus) வில்லேகளேத் தேவைக்கேற்பப் பயன்படுத்தலாம். இவ்வாறு பயன்படுத்திஞல் பொருள் O-விலிருந்து செல்லும் ஒளிக் கற்றைகள், அடுத்தடுத்த ஒளிவிலகல்களிஞல் குறுகிய கற்றையாக (Narrow beam) மேல் நோக்கி அனுப்பப்படும். இவ்வாறு அனுப்பப் படும் கதிர்கள் பொருளருகு வில்லேத் தொகுப்பில் உள்ள மற்ற வில்லேகளில் எளிதில் புகுந்து செல்லும். L_1, L_2 என்னும் இரண்டு வில்லேகளும் சிறிதளவு நிறப்பிறழ்ச்சியை உண்டாக்கும். எனவே ஒரு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை மூன்ருவது வில்லே L_3 வாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இவ்வகை அமைப்பைக் கொண்ட பொருளருகு வில்லே, ஒற்றை நிற ஒளிக்குக் கோளப் பிறழ்ச்சியை யும், இரு நிற ஒளிக்கு நிறப்பிறழ்ச்சியையும் நீக்குவதாக அமையும்.

இப்படி அமைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளருகு வில்லேயை ஒரு கண்ணருகு வில்லே (Eye-piece யுடன் இணேத்துப் பயன்படுத்தப் படும் கூட்டு நுண்ணேக்கி அதிக உருப்பெருக்கத் திறன் கொண்ட தாக இருக்கும்.

9.7. கட்ட வேறுபாடு நுண்ணேக்கி (Phase Contrast microscope) :

ஒரு பொருளே நுண்ணேக்கி மூலமாகப் பார்க்கும்பொழுது, அப் பொருளின்மீது படும் ஒளிக் கதிர்களே அது உட்கவர்தல். (Absorption) அல்லது சில குறிப்பிட்ட அலேநீளங்கள் கொண்ட கதிர்களே மட்டும் உட்கவர்தல் (Selective absorption) ஆகியவை களிஞல் ஏற்படும் பொலிவு (Brightness), நிறவேறுபாடு (Colour Contrast) இவைகளில் மட்டுமே நாம் கவனம் கொண்டால், நுண்ணேக்கியின் அமைப்பு எளிமையான தோன்ருகும். நாம் ஆயும் பொருளின் அளவு, வடிவம், அடர்த்தி போன்ற பல்வேறு வகைப்பட்ட பண்புகளிலும் கவனம் கொள்கின்ற நேரத்தில், இவை எல்லாவற்றையும் சரியான பொலிவுடனும், நிற வேறுபாடு களுடனும் கொடுக்கக்கூடிய கருவிகள் தேவை. நுண்ணேக்கி அமைத்த நாளிலிருந்து அது பொருளுக்கான தெளிவான படிவத் தைக்கொடுப்பதற்காகப் பலவாறு மாற்றி அமைக்கப்பட்டு வந்துள் ளது. இதன் பயனுகப் பார்வைப் புலத்தின் மையப் பகுதியிலாவது ஒளியின் அலேப் பண்புகளிஞல் அமைந்த கொள்கை மூலம் கிடைக்கும் பகுதிறனின் (Resolving power) முழு அளவைப் பெற

முடிந்தது. எனவே எல்லா வகை நுண்ணோக்கிகளும் பொலிவு, நிற வேறுபாடு ஆகிய இரண்டு பொதுப் பண்புகள் மட்டும் கொண்டு, கண்ணால் பார்க்கக்கூடிய படிவங்களை உண்டாக்குபவையாக இருக்கின்றன. ஆனால் இந்த முன்னேற்றங்கள் எல்லாம் ஆய்வுப் பொருளினையோ, அதனுடைய தனிப்பட்ட ஒளிப் பண்புகளையோ கொண்டு அமைந்தவை அல்ல. ஆய்வுப் பொருளினுள் ஒளி செல்லும்பொழுது, அதனுள் ஒளிப்பாதை வேறுபாடு (Optical path difference) உண்டாக்கப்படுகின்றது. [ஒளிப்பாதை என்பது, அது பொருளினுள் செல்லும் தூரத்தைப் பொருளினுடைய ஒளிவிலகல் எண்ணால் (Refractive index) பெருக்கக் கிடைக்கும் மதிப்பு ஆகும்.] நுண்ணோக்கியில் ஆய்வு செய்யப்படும் பொருளுக்கு அதனுடைய இயல்பியல், வேதியல் பண்புகளைப் பொறுத்து அதனுடைய ஒளிவிலகல் எண் அமையும்.

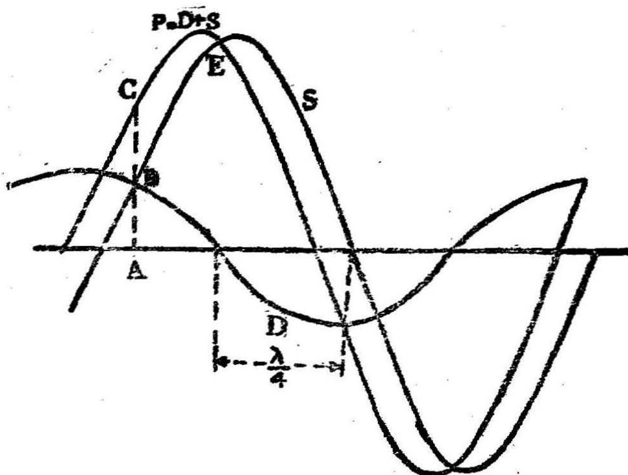
இதனால் ஆய்வுப் பொருளின் ஒளிவிலகல் எண், தடிமம் இவற்றைப் பொறுத்து ஒளிப்பாதை வேறுபாடு உண்டாகும். உயிரியல் (Biological) அல்லது தொழிற்சாலை (Industrial) ஆய்வுப் பொருள்களின் வெவ்வேறுபட்ட நுண்மைகள் (Details) அவற்றின் உட்கவரும் தன்மையைவிட ஒளிவிலகல் எண்களைப் பொறுத்து அமைகின்றன. ஒரு சாதாரண நுண்ணோக்கியினைக் கொண்டு இந்தப் பாகுபாடுகளைக் காண இயலாது.

ஒளியானது, சைன் (Sine) வடிவ அலைகளைக்கொண்ட ஒரு அலை இயக்கமாகும். [ஒளியின் 'அலைக்கொள்கை'யின்கீழ் இது குறித்துத் தெளிவாகப் படிக்க உள்ளோம்]. இப்படி அலைவடிவில் பரவுகின்ற ஒளியானது, ஒரு ஊடகத்திலிருந்து, மாறுபட்டதொரு ஊடகத்திற்குச் செல்லும்பொழுது, ஒளி அலையின் கட்டம் (Phase) மாறுகின்றது. இந்த மாற்றத்தை, ஒளிஅலையானது பரவுகின்ற திசையில் அடையும் ஒரு இடப்பெயர்ச்சி (Displacement) எனக் கொள்ளலாம். எனவே எடுத்துக்கொண்ட ஆய்வுப் பொருளானது, பகுதிக்குப் பகுதி மாறுபட்ட ஒளிப்பாதைகளை உண்டாக்கக்கூடிய பருப்பொருளால் ஆக்கப்பட்டிருந்தால், அந்தந்தப் பகுதியிலிருந்து வரும் அலை முகப்புகளின் (Wane fronts) கட்டங்கள் (Phases) வேறுபடும். இப்படி ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடுகளினால் பொருளின் பல பகுதிகளின் பொலிவுத் தன்மைகளைத் தெளிவுபடக் கண்ணிற்குத் தெரியும்படிச் செய்கின்ற நுண்ணோக்கி, கட்ட வேறுபாடு நுண்ணோக்கி (Phase contrast microscope)எனப்படுகின்றது. 1935-ஆம் ஆண்டு செர்னைக் (Zernike) என்பவர்தான் முதன் முதலாகக் கட்ட வேறுபாட்டு முறையை நுண்ணோக்கிகளுக்குப் பயன்படுத்த இயலுமெனக் காட்டினார்.

9.8. கட்ட வேறுபாடு நுண்ணோக்கியின் ஒளி அடிப்படைகள் :

கட்ட வேறுபாடு நுண்ணோக்கி, ஒளி அலைகளை இணைக்கும் பொழுது ஏற்படும் விளைவை அடிப்படையாகக்கொண்டது. மேலும் அலைகளின் வீச்சு (Amplitude), கட்டம்(Phase)எனப்படும், இரண்டு பண்புகளைப் பெரிதும் பொறுத்துச் செயல்படுகின்றது. ஒரு ஒளி புகும் (Transparent) பொருள் இவ்வகை நுண்ணோக்கிக்கு நல்ல ஆய்வுப் பொருளாக அமையும். ஆய்வுப் பொருள் ஒளிபுகும் தன்மை கொண்டதாக இருப்பதனால், இதனைச் சூழ்ந்துள்ள ஊடகத்தி னின்றும் சிறிதளவு மாறுபட்ட ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண் டிருக்கும். இதனால் பொருளினுடைய ஒளிப் பாதைக்கும், சூழலின் ஒளிப் பாதைக்கும் இடையே சிறிதளவு வேறுபாடு ஏற்படுகின்றது.

உதாரணமாக ஆய்வுப் பொருளின்மீதும், சூழலின்மீதும் படும் ஒளிஅலை ஒன்றே எனக் கொள்வோம். படம் 9.7-ல் காட்டப்பட் டுள்ள S என்பது, சூழலின் வழியாக ஊடுருவி வந்த சைன் அலை

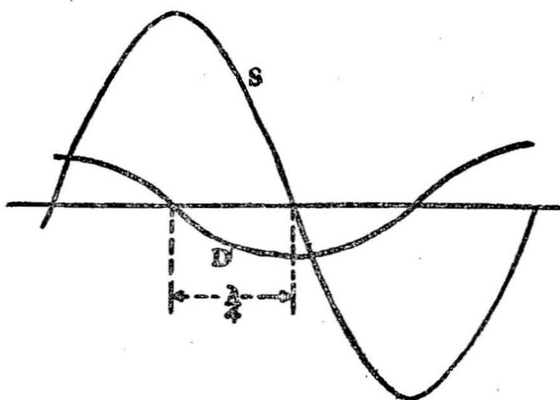


படம் 9.7.

(Sine wave) என்றும் P என்பது ஆய்வுப் பொருளின் வழியாக ஊடுருவி வந்த சைன் அலை என்றும் கொள்வோம். ஆய்வுப் பொருளுக்குச் சூழலைவிட அதிக ஒளிவிலகல் எண் இருக்குமே யானல், பொருளின் வழியாகச் செல்லும் அலையானது எதிர் முடுக்கத்திற்குள்ளாகின்றது (Subjected to retardation). அதாவது அலைகள் S, P இரண்டிற்கும் இடையே கட்டவேறுபாடொன்று (Phase change) உண்டாக்கப்படுகின்றது. இந்தக் கட்ட வேறு பாடு, இடைநிலை அச்சினை ஆதாரமாகக்கொண்டு இரண்டு சைன்

அலைகளுக்குமிடையே ஒரு இடப்பெயர்ச்சியாக படம் 9.7-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. பொருளின் வழியாக வந்த அலை, சூழலின் வழியாக வந்த அலையினின்று எப்படி மாறுகின்றது என்பதைக் காண P-யிலிருந்து S-ஐக் கழிக்கவும். கழிப்பதனால் கிடைக்கும் வேறுபாடு மற்றொரு சைன் அலை D-யாகும். படம் 9.7-லிருந்து வேறுபாட்டினால் ஏற்பட்ட சைன் அலை D, சைன் அலை S-லிருந்து சரியாக $\frac{1}{4}$ அலை நீளம், கட்ட வேறுபாடு கொண்டுள்ளது தெரியும். [$\frac{1}{4}$ அலை நீளம் $= \pi/2$ கட்டவேறுபாடு; $\frac{1}{2}$ அலை நீளம் $= \pi$ கட்ட வேறுபாடு; முழு அலை நீளம் $= 2\pi$ கட்ட வேறுபாடு] ஆய்வுப் பொருளில் அடைந்த விளிம்பு விலகலில் (Diffraction) திசை மாற்றமடைந்த ஒளிக்கதிரை அலை D குறிக்கின்றது. ஆய்வுப் பொருள் இல்லாத சூழலில் மட்டும் ஊடுருவி, திசைமாற்ற மடையாத ஒளிக்கதிரை அலை S குறிக்கின்றது.

படம் 9.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ள S, D இரண்டு அலைகளும் நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லை (Objective)-யை அடைவன



படம் 9.8.

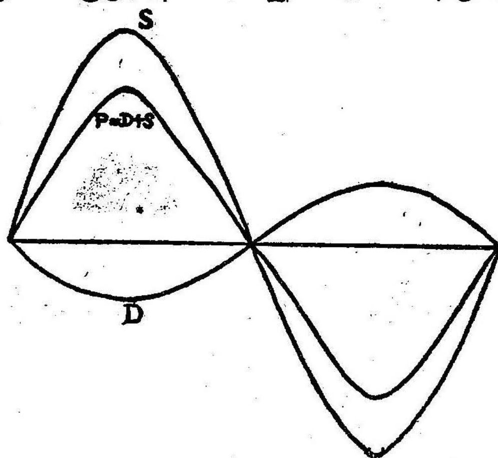
வாகும். இவற்றை நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லையின் வழியாகச் செலுத்தி படிவம் ஏற்படும் தளத்தருகில் குறுக்கீட்டுக்கு (Interference) உள்ளாக்கினால், படிவம் தோன்றும். இந்த நிலையில் அலைகள் D-யும், S-ம் சேர்ந்து அலை P-யைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

சூழலின் படிவம், அலை S-ஆல் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. அலைகள் S, P இரண்டுக்கும் சமவீச்சு இருக்கின்ற காரணத்தால் சூழலினுடைய படிவத்திற்கும், பொருளின் படிவத்திற்குமிடையே எவ்விதமான வேறுபாடும் இருக்காது. ஏனெனில், ஏற்படும்

பொலிவு I எனில், $I \propto$ (வீச்சு)^2. எனவே வீச்சுகள் இரண்டு அலைக்கும் சமமாக இருந்தால், பொலிவு சமமாக அமைந்து சூழலையும், பொருளையும் வேறுபடுத்த இயலாத அளவுக்கு இருக்கும். எனவே பொருள் தெரியாது. இதுதான் சாதாரண மான நுண்ணோக்கிகளில் நிகழும்.

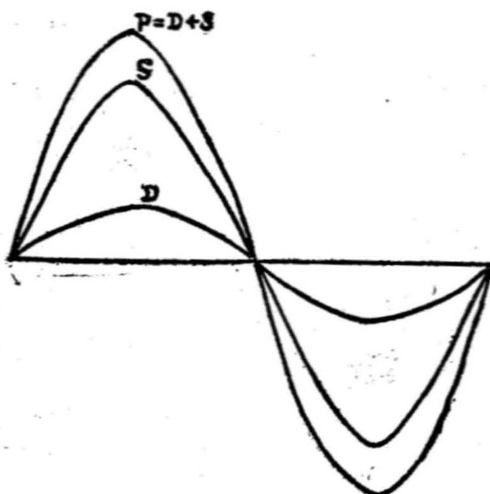
ஆனால் கட்டவேறுபாடு நுண்ணோக்கியில், ஒரு கட்ட மாற்றியைப் ((Phase changer) பயன்படுத்தி, அலை D-னுடைய கட்டத்தை, அலை S-ன் கட்டத்திற்குச் சமமாகவோ, அல்லது அவை இரண்டுக்கும் இடைப்பட்ட கட்டவேறுபாட்டை சரியாக $\frac{1}{2}$ அலை நீளமாக (Half-wave length) மாற்றியோ, சூழலுக்கும் பொருளுக்குமிடையே தெளிவான வேறுபாடு உண்டாக்கப் படுகின்றது.

படம் 9.9-ல் அலை D-யினுடைய கட்டத்தை $\frac{1}{2}$ அலை நீளம் அதிகமாக்கும்பொழுது, அலை D, S இரண்டும் சேர்ந்து அலை P-யைக்



படம் 9 9.

கொடுக்கின்றன. எனவே, பொருளின் படிவத்தை ஏற்படுத்தும் ஒளியினுடைய வீச்சு, அலைகள் D, S இரண்டினது வீச்சுகளின் கூடுதல் $(D+S)$ ஆகும். இது சூழலின் படிவத்தை உண்டாக்கும் அலை S-ன் வீச்சைவிட அதிகமாக உள்ள காரணத்தால் பொருள் சூழலைவிட பொலிவாகத் தோன்றும். அதே நேரத்தில் அலை D-யின் கட்டத்தை $\frac{1}{2}$ அலை நீளம் குறைப்பதாகக் கொண்டால் படம் 9.10-ல் உள்ளது போன்று S-ன் வீச்சு அதிகமாகவும், பொருளின் படிவத்தை உண்டாக்கும் அலை $(D+S)$ன் வீச்சுக் குறைவாகவும் இருக்கும். இதனால் சூழலைவிடப் பொருள் கருமை யானதாகத் தோன்றும்.

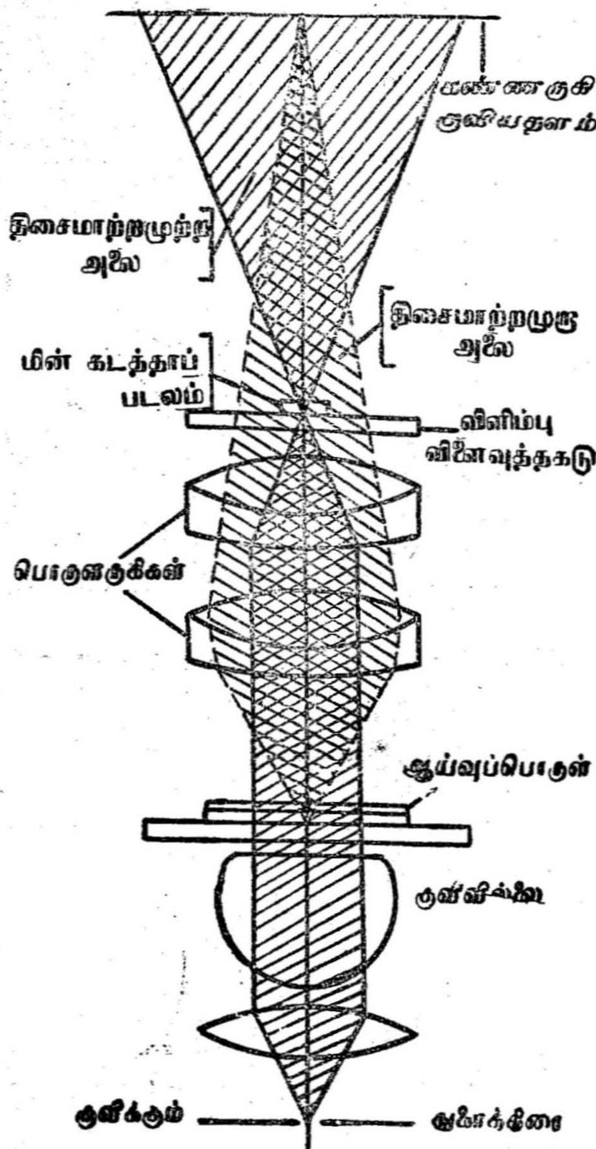


படம் 9.10.

எனவே, பொருளின் வழியாகச் செல்லும் திசைமாற்றம் அடைந்த அலையை திசைமாற்றம் அடையாமல் செல்லும் அலையினைப் பொறுத்து கட்டமாற்றம் செய்தால், பொருளின் வழியாகச் செல்வதினால் ஏற்படும் கட்ட மாற்றங்கள் வீச்சு மாற்றங்களாக்கப்பட்டு பொருள்கள் பொலிவுடன் தோற்றம் அளிக்கும்.

படம் 9.11-ல் ஒரு கட்டவேறுபாடு நுண்ணோக்கி செயல்படும் முறை காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தின் கீழ்ப் பக்கத்திலிருந்து நோக்கினால் குவிக்கும் துளைத் திரையில் (Condensing diaphragm) உள்ள துளையின் வழியாக ஒளிமேல் நோக்கிச் செல்கின்றது. துளை நுண்ணோக்கியின் அச்சின்மீது அதன் குவியத்தில் அமைந்துள்ளது. குவிக்கும் வில்லையின் மீது விழும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வெளியேறுகின்றன. இக் கதிர்கள் ஒளிப் பண்புகள் கொண்ட ஆய்வுப் பொருளின் வழியாகச் செல்கின்றன. ஆய்வுப் பொருள் ஒளி அலைகளை விளிம்பு விளைவு (Diffraction) அடையுமாறு செய்கின்றது. இதனால் திசை மாற்றமடைந்த அலை ஆய்வுப் பொருளிலிருந்து மேல் நோக்கிச் செல்வதாக படம் 9.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. திசை மாற்றமுறு அலைகள் பொருளருகு வில்லைகளின் வழியாகச் சென்று, அவ் வில்லைகளின் குவியத்தில் குவிகின்றன. ஆனால் திசை மாற்றமடைந்த அலைகள் கண்ணருகு வில்லையின் குவிய தளத்தில் குவிகின்றன. பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தில் அமைந்துள்ள மக்னீசியம் ஃபுளோரைடு போன்ற ஒரு மின் கடத்தாப் பொருளின்

(Dielectric) படலத்தைக்கொண்டு திசை மாற்றம் அடைந்த அலை அல்லது திசைமாற்றம் அடையாத அலையினுடைய கட்டத்தை மாற்றலாம். படம் 9.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்புப்படி திசை



படம் 9.11. கட்ட வேறுபாடு நுண்ணோக்கியின் அமைப்பு.

மாற்றம் அடையாத அலை S-ன் கட்டம் எதிர் முடுக்க மாற்ற மடையுமாறு செய்யப்படுகின்றது. கட்டம் மாற்றியின் மையப் பாகம் அதிகத் தடிமம் உள்ளதாகச் செய்யப்பட்டுள்ளது. பெரும் பாலான தேவைகளுக்கு, இங்கு உண்டாக்கப்படும் கட்ட வேறுபாடு, $\frac{1}{4}$ அலை நீளமாக இருக்கும். இதனால் படிவத்தில் அதிக மாறு பாட்டை உண்டாக்க இயலும். கண்ணருகு வில்லையின் குவியத் தளத்தில், திசை மாற்றமடையாத அலை பார்வைப் புலத்தில் முழுவதுமாகப் பரவியும், திசைமாற்றம் அடைந்த அலை குவிந்தும் உள்ளது. இவ்வாறு குவியும் அலை, திசைமாற்றமடையாத அலையுடன் குறுக்கீட்டு விளைவை உண்டாக்குகின்றது. இதனால் ஆய்வுப் பொருளின் படிவத்திற்கும், சூழலுக்கும் இடையே நல்ல வேறுபாட்டை உண்டாக்க, அலைகள் S, D இரண்டினுடைய வீச்சுகள் சமமாக இருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். ஆனால் திசைமாற்றமடையும் அலை D-ன் வீச்சு மிகக் குறைவாகத் தான் இருக்கும். எனவே S-ன் வீச்சை அதிகரிப்பதற்கு முடியாது. எனவே D-க்குத் தகுந்த அளவு இருக்கும்படி S-ன் வீச்சைக் குறைக்க வேண்டும். அதாவது S-ஞல் உண்டாகும் பொலிவைக் குறைக்க வேண்டும். இதற்காக ஒளி அலை S-ன் வழியில் கட்ட மாற்றத்தை உண்டாக்கும் தகட்டின் மேல் உட்கவரும் பொருள் வைக்கப்படுவதின் மூலம், S-ன் வீச்சு குறைக்கப்படுகின்றது.

எனவே, இங்கு ஆய்வுப் பொருள், அதனுடைய ஒளி உட்கவரும் அல்லது, ஒளி எதிர் முடுக்கப் பண்புகளினால் விளிம்பு விளைவை உண்டாக்குவதினால், பொருள்களை ஆய்வதில் கட்ட வேறுபாடு நுண்ணோக்கி நல்ல முறையில் பயன்படுகிறது. பொருள்களின் பண்புகளை இதனைக் கொண்டு தெளிவாக ஆய முடிகின்றது.

9.9. வானியல் தொலைநோக்கி (ஒளிவிலகல் வகை)

உண்மையில் பெரிய உருக்கொண்டவையானாலும் ஆய்வாளரிட மிருந்து வெகு தொலைவில் அமைந்துள்ளமையால் சிறியவையாகத் தோன்றும் பொருள்களின் உருப் பெருக்கடைந்த படிவங்களைப் பெறுவதற்கு இவ்வகைத் தொலைநோக்கிகள் பயன்படுகின்றன. இதில் ஒரு பொருளருகு குவிவில்லைத் தொகுப்பும், ஒரு கண்ணருகு வில்லைத் தொகுப்பும் உள்ளன.

அமைப்பு

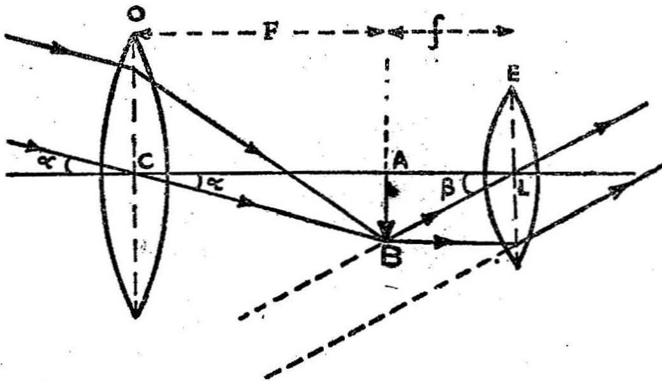
பொருளருகு வில்லைத் தொகுப்பு அதிகக் குவிய தூரத்தையும் அதிக வில்லைத் திறப்பும் (Lens aperture) கொண்டது. பெரும் பாலும் இரண்டு வில்லைகள் இணைந்து இருக்குமாறு அமைக்கப்

படும். இதனல் நிறப்பிறழ்ச்சியும் கோளப் பிறழ்ச்சியும் பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது. பொருளருகு வில்லைத் தொகுப்பு செப்புக் குழாயொன்றின் ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.

கண்ணருகு வில்லையும் (Eye-piece) ஒரு குவி வில்லைத் தொகுப்பாகவே இருக்கும். குறைந்த குவிய தூரங்களையும், குறைவான வில்லைத் திறப்புகளையும் கொண்ட இரண்டு வில்லைகளைக் கொண்டதாக இருக்கும். இரண்டு வில்லைகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்டு, கோளப் பிறழ்ச்சியும், நிறப் பிறழ்ச்சியும் குறைக்கும் வகையில் இருக்கின்றன. இது மற்றெரு சிறிய செப்புக் குழாயின் ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டு, இந்தக் குழாய் பொருளருகு வில்லையைத் தாங்கிக் கொண்டிருக்கும் குழாயினுள் முன்னும், பின்னும் நகரும் வண்ணம் பொருத்தப் பட்டிருக்கும். பொருளருகு வில்லையும், கண்ணருகு வில்லையும் ஓரச்சைக் கொண்டவையாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.

வேலை செய்யும் விதம்

தூரப் பொருள் ஒன்றிலிருந்து வரும் இரண்டு கதிர்கள் பொருளருகு வில்லை O-வின் மேல் விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 9.12.). கதிர்கள் தூரப் பொருளிலிருந்து வருகின்ற காரணத்

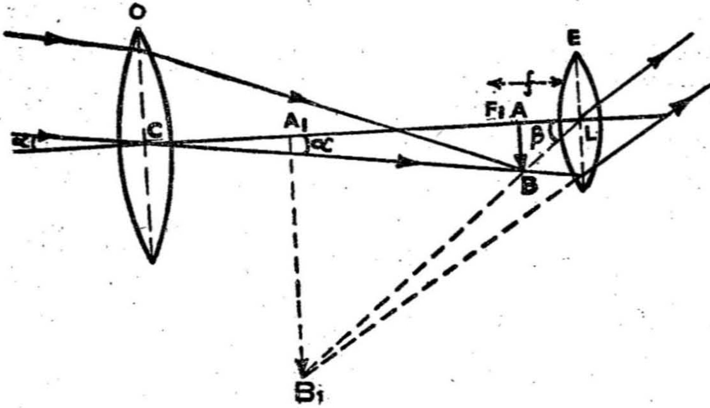


படம் 9.12. வானியல் தொலைநோக்கி

தால் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும். தொலைநோக்கியின் அச்சுடன் அவை தாங்கும் கோணத்தை α எனக் கொள்வோம். [இது மிகச் சிறிய மதிப்பைக் கொண்டதாக இருக்கும். ஏனெனில் சந்திரன் கண்ணில் தாங்கும் கோணம் $\frac{1}{2}^{\circ}$ ஆகும்]. பொருளருகி (Objective) தூரப் பொருளின் தலை கீழான படிவம் AB-ஐ அதனுடைய இரண்டாவது முக்கியக் குவியத்தின் வழியாகச்

செல்லும் தளத்தின்மீது உண்டாக்குகின்றது. படிவம் உண்டாகி யிருக்கும் தளம் கண்ணருகு வில்லையின் முதல் முக்கியக் குவியத்தில் அமைந்திருக்குமாறு செய்தால் இறுதிப் படிவம் முடிவில்லாத் தொலைவில் உண்டாகும். இதனால் கண்ணுக்கு வரும் கதிர்கள் இணையானவை. படிவத்தைக் கண்ணுக்குத் துன்பமில்லாமல் எவ்வளவு நேரம் வேண்டுமானாலும் பார்க்க இயலும். இவ்வகை அமைப்பில் பொருளருகு வில்லைத் தொகுப்புக்கும் கண்ணருகு வில்லைக்குமிடைப்பட்ட தூரம் $(F + f)$தானிருக்கும்.

ஆனால் 9.13-ல் காட்டியுள்ளவாறு பொருளருகு வில்லை ஏற்படுத்தும் படிவம் கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்திற்குள் தோன்றுமேயானால் படிவம் $A_1 B_1$ கண்ணருகிலிருந்து ஒரு சரியான



படம் 9.13.

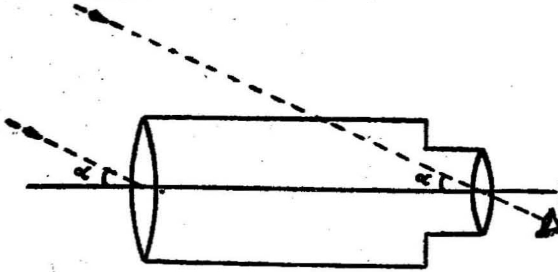
தூரத்தில் தோன்றும். பெரும்பாலும் இந்த தூரம் தெளிவுப் பார்வைத் தூரமாகத்தான் அமையும். இறுதிப் படிவம், உருப் பெருக்கடைந்த, மாய, தலைகீழான தொன்றாக இருக்கும்.

உருப்பெருக்கத் திறன்

ஒரு தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கத் திறன் என்பது ஏற்படும் படிவம் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்திற்கும் நேரடியாக பொருளானது கண்ணில் தாங்கும் கோணத்திற்குமான விகிதம் ஆகும்.

தூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளொன்று கண்ணில் தாங்கும் கோணமும், அதே பொருள் தொலைநோக்கியின் பொருளருகி (Objective)-யில் தாங்கும் கோணமும் ஒன்றேயாகும். ஏனெனில்

பொருள அமைந்துள்ள தூரத்தைக் கருதும் பொழுது, தொலை நோக்கியின் நீளம் மிகக் குறைவானது. பொருள் ஏற்படுத்தும்



படம் 9..14

கோணத்தை α எனக் கொள்வோம். படம் 9.14-ல் பொருள் கண்ணில் தாங்கும் கோணமும், பொருளருகில் தாங்கப்படும் கோணமும் சமனெக் காட்டப்பட்டுள்ளது. கண்ணருகு வில்லைக்கு வெகு அருகில் கண்ணை வைத்துப் பார்க்கும்பொழுது இறுதிப் படிவம் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்தை β எனக் கொள்வோம். (படம் 9.12).

$$\text{உருப்பெருக்கத் திறன்} = \frac{\beta}{\alpha}$$

இப்பொழுது கோணங்களின் டேன் மதிப்புகளைக் கொள்ள,

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{\text{டேன் } \beta}{\text{டேன் } \alpha}$$

படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் ஏற்படுத்துமாறு செய்யும் பொழுது, படம் 9.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு தோன்றும்.

படம் 9.12-ல்

$$\text{முக்கோணம் } BAL\text{-ல் டேன் } \beta = \frac{AB}{AL} = \frac{AB}{f}$$

$$\text{முக்கோணம் } BAC\text{-ல், டேன் } \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{AB}{F}$$

பொருளருகியின் குவியதூரம் F-எனவும் கண்ணருகியின் குவிய தூரம் f-எனவும் கொள்கின்றோம்.

$$\text{எனவே உருப்பெருக்கத் திறன்} = \frac{AB}{f} \bigg/ \frac{AB}{F}$$

$$= \frac{F}{f}$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து மிக அதிகமான குவிய தூரமுள்ள பொருளருகு வில்லை, அல்லது மிகக் குறைந்த குவியத் தூரமுள்ள கண்ணருகு வில்லையைப் பயன்படுத்தினல் உருப் பெருக்கத்தை அதிகரிக்கலாம் என்பது தெளிவு.

படம் 9.13-ல் உள்ளதுபோன்று, இறுதிப்படிவம் A_1B_1, தெளிவு பார்வைத் தூரத்தில் அமைந்திருக்குமேயானல்,

$$\text{டேன் } \beta = \frac{AB}{AL}$$

$$\text{டேன் } \alpha = \frac{AB}{CA}$$

$$= \frac{AB}{F}$$

எனவே உருப்பெருக்கத் திறன் $= \dfrac{AB/AL}{AB/F} = \dfrac{F}{AL}$ ஆகும்.

வில்லைச் சமன்பாட்டைக் கண்ணருகு வில்லைக்குப் பயன்படுத்த

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

அல்லது

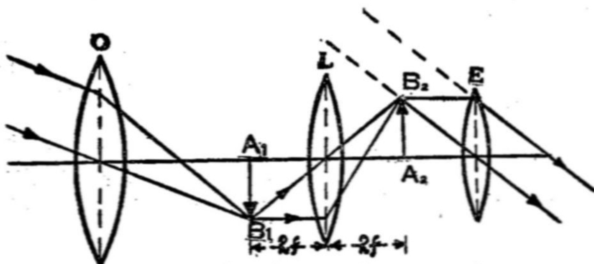
$$\frac{1}{AL} - \frac{1}{D} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{AL} = \frac{1}{f} + \frac{1}{D}$$

எனவே உருப்பெருக்கம் $= \dfrac{F}{AL} = F\left(\dfrac{1}{f} + \dfrac{1}{D}\right)$ ஆகும்.

9.10. தரையியல் தொலைநோக்கி

வானியல் தொலைநோக்கியால் உண்டாக்கப்படும் இறுதிப் படிவம் தலைகீழானதாக உள்ளது. இதனுல் நிலப்பரப்பின் மேல்



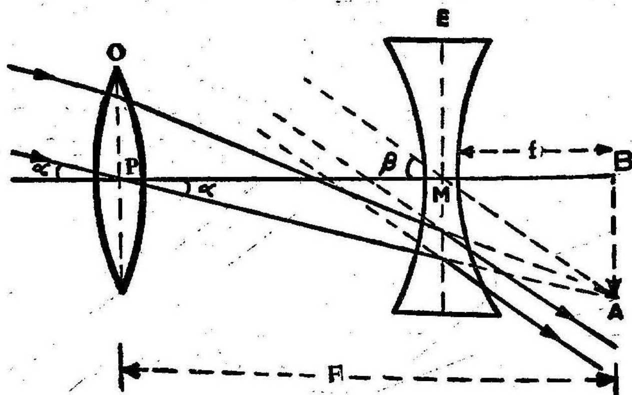
படம் 9.15. தரையியல் தொலைநோக்கி

பயன்படுத்தும் தொலைநோக்கி உண்டாக்கும் இறுதிப் படிவம் நேரானதாக இருக்க வேண்டும். எனவே படம் 9.15-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது போன்று பொருளருகி, கண்ணருகி இவைகளுக் கிடையே ஒரு நிமிர்த்தும் வில்லை (Erecting lens)-L அமைக்கப் பட்டுள்ளது.

பொருளருகு வில்லை தூரப் பொருளினுடைய சிறிய உண்மை யான தலைகீழ் படிவத்தை $A_1 B_1$-ல் உண்டாக்குகின்றது. இந்தப் படிவம் $A_1 B_1$ நிமிர்த்தும் வில்லைக்கு முன்னால் அதன் குவிய தூரத் தைப் போன்று இரு மடங்கு தூரத்தில் அமைகின்றது. இதனால் உண்மையான, அதே அளவுகொண்ட படிவம், பொருளைப்போன்று நிமிர்த்தப்பட்டு $A_2 B_2$-ல் வில்லையிலிருந்து $2f$ தூரத்தில் அமையும். இப்படிவம் $A_2 B_2$ கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்தில் உண்டாகு மாறு கண்ணருகு வில்லை பொருத்தப்பட்டால், இறுதிப் படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் ஏற்படும். இதனால் கண்ணுக்கு துன்ப மில்லாமல் நெடுநேரம் படிவத்தைப் பார்க்க முடியும். நேரான படிவம் உண்டாகுமாறு செய்ய தொலைநோக்கியின் நீளம், நிமிர்த்தும் வில்லையின் குவிய தூரத்தைப்போன்று நான்கு மடங்கு நீளம் அதிகமாக்கப்படுகின்றது. இது ஒரு குறைபாடாகும்.

9.11 கலீலியோ தொலைநோக்கி :

கலீலியோ தொலைநோக்கியில் அதிகக் குவிய தூரம் கொண்ட குழிவில்லையொன்று கண்ணருகு வில்லையாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது பொருளருகு வில்லை O தூரப் பொருளுக்கான, தலைகீழ் உண்மைப் படிவத்தை AB-யில் உண்டாக்குகின்றது. ஆனால் கண்ணருகு



9.16. கலீலியோ தொலைநோக்கி

வில்லை படிவம் ஏற்படும் இடத்திற்கு முன்பாக வைக்கப்படுவதனால், உண்மையில் படிவம் உண்டாவதில்லை. இருப்பினும் கண்ணருகு வில்லைக்கு மாயப்பொருளாக அமைகின்றது. கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்தில் AB அமைந்தால் இறுதிப் படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் தோன்றும். தூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளைக் கருத இறுதிப்படிவம் நேரான உருப்பெருக்கடைந்ததொன்றாக இருக்கும்.

பொருளருகு வில்லையின் குவிய தூரம் F என்றும், கண்ணருகு வில்லையின் குவிய தூரம் f என்றும் கொண்டால் தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கம் $\frac{F}{f}$ எனக் காட்டலாம். கண்ணை கண்ணருகு வில்லைக்கு நெருக்கமாக வைத்துப்பார்க்கும்பொழுது, இறுதிப்படிவம் கண்ணில் தாங்கும் கோணம் β என்றும், தூரப் பொருள் நேரடியாகக் கண்ணில் தாங்கும் கோணம் α என்றும் கொண்டால், [பொருள் உள்ள தூரத்தைக் கருதும்பொழுது, பொருள் கண்ணில் தாங்கும் கோணத்திற்கும், பொருளருகியில் தாங்கும் கோணத்திற்கும் மாற்றமிருக்காது எனக் கொள்ளப்படுகின்றது.]

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\text{டேன் } \beta}{\text{டேன் } \alpha}$$

$$\text{டேன் } \beta = \frac{AB}{BM} = \frac{AB}{f}$$

$$\text{டேன் } \alpha = \frac{AB}{PB} = \frac{AB}{F}$$

$$\therefore \quad \text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{AB/f}{AB/F}$$

$$= \frac{F}{f}$$

கலிலீயோ தொலைநோக்கியில் ஏற்படும் உருப்பெருக்கம், வானியல் தொலைநோக்கியில் கிடைக்கும் உருப்பெருக்கத்திற்குச் சமமென்பது கவனிக்கத்தக்கது.

9.12. கண்ணருகு வில்லைகளின் தொகுப்பு

நாம் இதுவரை பார்த்ததைப் போன்று பொருளருகு வில்லையோ, கண்ணருகு வில்லையோ, தனி வில்லைகளாகப் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை. பொருளருகு வில்லை இடத்தில் ஒரு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை (Achromatic doublet) பயன்படுத்தப்

படுகின்றது. இதேபோன்று கண்ணருகு வில்லை அமையும் இடத்திலும் இரண்டு வில்லைகளைக் கொண்ட தொகுப்புப் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. தனி வில்லையை கண்ணருகு வில்லையாகப் பயன் படுத்தப்படும்பொழுது ஏற்படும் கீழ்க்கண்ட குறைபாடுகளால், வில்லைத் தொகுப்பொன்றினைப் பயன்படுத்தவேண்டி உள்ளது.

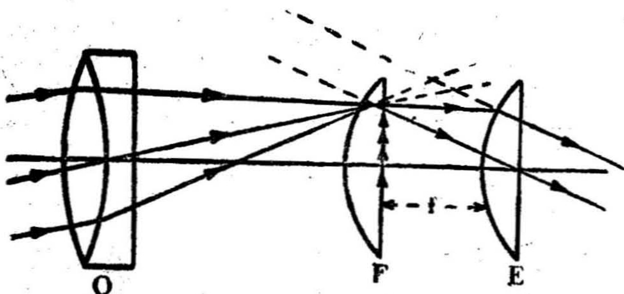
1. ஒரு தனி வில்லையானல் நிறப்பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி இவைகளினுல் ஏற்படும் படிவம் பாதிக்கப்படுகின்றது.

2. தனி வில்லை கண்ணருகு வில்லையாகப் பயன்படுத்தப்படும் பொழுது, கருவியின் உருப்பெருக்கம் அதிகரிக்கும்பொழுது பார்வைப்புலம் குறைந்துகொண்டே வருகின்றது. கண்ணருகு வில்லைக்கு அருகில் கண்ணை வைத்துப் பார்க்கும்பொழுது உருப் பெருக்கடைந்த படிவத்தினின்று வரும் எல்லாக் கதிர்களும் ஒரே நேரத்தில் கண் வில்லையின் வழியாகச் செல்ல இயலுவதில்லை. இதனுல் அச்சிற்கு அருகில் அமையும் படிவத்தின் பகுதியை மட்டுமே பார்க்க இயலுகின்றது. எனவே பார்வைப்புலத்தின் பரப்பு பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது. இந்தக் குறைபாடு குறைந்த குவிய தூரமுள்ள ஒரு கண்வில்லையின் முன்பாக மற்ருெரு குவிவில்லையை அமைப்பதின் மூலம் சரி செய்யப்படுகின்றது. இவ்வாறு அமைக்கப்படும் வில்லை, விளிம்புக்கதிர்களைத் திசைமாற்றி கண்வில்லையின்மீது படும்படிச் செய்து பார்வைப் புலத்தினை அதிகரிக்கின்றது. இதனுல் கூடுதலாகப் பயன்படுத்தப்படும் இவ் வில்லை புலவில்லை (Field lens) எனப்படுகின்றது. எனவே கண் ணருகித் தொகுப்பு, இரண்டு வில்லைகளைக் கொண்டுள்ளது. கண்ணுக்கு அருகாமையில் உள்ளது கண்வில்லை (Eye-lens) என்றும், பொருளுக்கு அருகாமையில் உள்ளது புலவில்லை (Field lens) என்றும் கூறப்படுகின்றது. இவ்விரண்டு வில்லைகளும் கோளப்பிறழ்ச்சி, நிறப்பிறழ்ச்சி ஆகிய குறைபாடுகளைப் பெரிதும் குறைக்கும் வண்ணம் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. சில முக்கியமான கண்ணருகித் தொகுப்புகளின் அமைப்புப்பற்றிக் காண்போம்.

9.13. கெல்னர் கண்ணருகித் தொகுப்பு (Kellner's Eye-piece) :

கெல்னர் கண்ணருகித் தொகுப்பு இரண்டு சம குவிய தூரம் f அளவு கொண்ட மட்டக்குவி வில்லைகளைக் கொண்டு அமைக்கப் பட்டுள்ளதாகும். வில்லைகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரம் அவற்றின் சம குவிய தூரத்தின் அளவு இருக்குமாறு பிரித்து வைக்கப்பட் டுள்ளன. வில்லைகளின் வளைவு பரப்புகள் பொருளருகியை Objective) நோக்கி இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளன. கெல்னர் கண்ணருகித் தொகுப்பின் அமைப்பு படம் 9.17-ல் காட்டப்பட்

டுள்ளது. தூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளின் படிவத்தைப் பொருளருகி O, கண்ணருகித் தொகுப்பின் புலவில்லை F-ன் முக்கிய



படம் 9.17. கெல்னர் கண்ணருகித் தொகுப்பு

தளத்தில் தோற்றுவிக்கின்றது. இப் படிவம் கண் வில்லை E-க்குப் பொருளாக அமைகின்றது. படிவம் தோன்றும் தளம் கண்வில்லையின் குவிய தளமாக இருந்தால் இறுதிப்படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் உண்டாகும்.

புலவில்லை, அதன்மீது படும் ஓரக் கதிர்களை கண்வில்லையை நோக்கி திசைமாற்றம் செய்வது படத்திலிருந்து தெளிவாகின்றது. அதாவது புலவில்லை படிவத்தின் பாகங்களிலிருந்தும் வரும் கதிர்களைக் கண்வில்லையை அடையுமாறு செய்வதின் மூலம், கண்ணை அடையும்படிச் செய்து, பார்வைப் புலத்தை அதிகரிக்கின்றது. புலவில்லை இல்லாவிடில் ஓரக் கதிர்கள் கண்வில்லையை அடையாது.

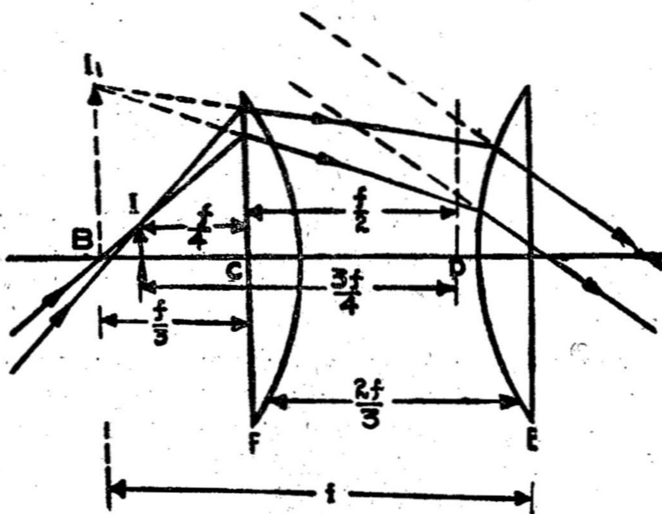
இக் கண்வில்லைத் தொகுப்பு, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கான நிபந்தனையைச் சரிசெய்யும் வகையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அவ்விரு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம், அவ்விரு வில்லைகளின், குவிய தூரக் கூடுதலின் பாதி மதிப்பான,

$$\left[d = \frac{(f+f)}{2} = f\right] f$$ அளவு இருக்குமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த நிபந்தனையால் கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்க இயலாது. ஆனால் மட்டக் குவிவில்லைகள் பயன்படுத்தப்பட்டு அவற்றின் கோளப் பரப்புகள் படுகதிர்களை நோக்கி உள்ளமையால், கோளப்பிறழ்ச்சியை ஓரளவு குறைக்கலாம்.

புலவில்லையின்மீது தூசு படிந்திருந்தாலோ, அல்லது கீரல்கள் இருந்தாலோ, பொருளுடன் இவைகளும் உருப்பெருக்கம் அடையுமாதலால் படிவத்தின் தெளிவு குன்றும். இஃது, இவ்வகைக் கண்ணருகித் தொகுப்பில் ஏற்படும் பெரியதொரு குறைபாடாகும்.

9.14 ராம்ஸ்டன் கண்ணருகித் தொகுப்பு :

ராம்ஸ்டன் (Ramsden) கண்ணருகித் தொகுப்பிலும் சம குவிய தூரங்கள் கொண்ட இரண்டு மட்டக்குவி வில்லைகள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. அவை ஒவ்வொன்றின் குவிய தூரமும் f அளவு கொண்டதெனில், அவைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் $\frac{2}{3}f$ இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் அவைகளின் வளைபரப்புகள்



9,18. ராம்ஸ்டன் கண்ணருகித் தொகுப்பு

ஒன்றையொன்று நோக்கி இருக்குமாறு படம் 9.18-ல் காட்டப் பட்டுள்ளபடி அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் கோளப்பிறழ்ச்சி பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது.

தூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளொன்றினுடைய உண்மை யான, தலைகீழ் படிவத்தை IA-யில் பொருளருகு வில்லை உண்டாக்கு கின்றது. இந்தப் படிவம் புலவில்லை F-க்குப் பொருளாக அமைய, புலவில்லை படிவத்தை I_1B-யில் உண்டாக்குகின்றது. இப் படிவம் நேரான மாயப்படிவம் ஆகும். I_1B கண்வில்லை E-க்குப் பொருளாக அமைகின்றது. I_1B அமையும் இடம் வில்லை E-யின் ஒரு குவிய தளமாக இருந்தால், ஏற்படும் இறுதிப்படிவம் முடிவிலாத் தொலை வில் ஏற்படும். ஆகவே கண் துன்பமில்லாமல் பார்க்க இயலும். குவிய தூரங்கள் f_1, f_2 என்னும் மதிப்புக் கொண்ட இரண்டு

வில்லைகள் x தூரம் இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்படும்பொழுது, இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தூரம் F எனில்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{x}{f_1 f^2}$$ என்பது சமன்பாடு ஆகும்.

இங்கு $f_1 = f_2 = f$,

$$x = \frac{2f}{3}$$ ஆகையால்

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f} - \frac{2f/3}{f^2}$$

$$= \frac{2}{f} - \frac{2}{3f}$$

$$= \frac{4}{3f}$$

$$F = \frac{3f}{4}$$ ஆகும்.

இணைமாற்று வில்லையின் நிலை புலவில்லைக்கு பின்புறம், $\frac{xF}{f}$ தூரத்தில் அமையும். இம்மதிப்பை d எனக் கொண்டால்,

$$d = \frac{\frac{2f}{3} \times \frac{3f}{4}}{f}$$

$$= f/2$$ ஆகும்.

படத்தில் D என்னும் புள்ளியின் வழியாகப் போடப்பட்டுள்ள புள்ளிக்கோடு, இணைமாற்று வில்லையின் நிலையைக் குறிக்கின்றது. ராம்ஸ்டனின் கண்ணருகித் தொகுப்பைப் பயன்படுத்தும் தொலை நோக்கியில் F_0 என்பது பொருளருகியின் குவிய தூரமெனில்,

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{F_0}{3f/4}$$

$$= \frac{4F_0}{3f}$$ ஆகும்.

குறுக்குக் கம்பிகளின் நிலை :

குறுக்கிணைக் கம்பிகள் படிவம் AI உண்டாகும் நிலையில்தான் அமைக்கப்பட வேண்டும். புலவில்லையினைப் பொறுத்து AI

உண்டாகவேண்டிய இடத்தைக் கணக்கிடலாம். இறுதிப்படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் ஏற்பட, AI-யின் நிலை இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தளமாக இருத்தல் வேண்டும். அதாவது படம் 9.18-ல்,

$AD = F = \frac{3f}{4}$ ஆக இருக்க வேண்டும். ஆனால்

$CD = d = \frac{f}{2}$; எனவே $AC = \frac{f}{4}$. அதாவது பொருளருகி படிவம் AI-ஐ புலவில்லைக்கு முன்னால் $\frac{f}{4}$ தூரத்தில் தோற்றுவிக்க வேண்டும். இந்த இடத்தில்தான் குறுக்கிணைக் கம்பிகள் வைக்கப் படவேண்டும். மேலும் இவ்விடத்தில் ஒரு நுண்ணிய அளவுகோலை அமைத்தால் படிவத்தினுடைய நீளத்தை அளக்க இயலும். அளவு கோலும், படிவமும் சமஅளவில் உருப்பெருக்கம் அடையுமாதலால், எடுக்கப்படும் அளவுகள் உண்மையானவைகளாக இருக்கும்.

நன்மை தீமைகள் :

1. கெல்னர் வில்லை தொகுப்பினைவிட பார்வைப் புலத்தின் மதிப்புக் குறைவுதான் என்றபோதிலும், போதுமான அளவு அகண்ட புலத்தைக் கொண்டுள்ளது.

2. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கான நிபந்தனையின்படி, பயன் படும் இரண்டு வில்லைகளின் குவிய தூரங்களின் கூடுதலில் பாதி அளவு இடைவெளியில் வில்லைகள் அமைக்கப்பட வேண்டும். ஆனால் அதைவிட குறைவான தூரத்தில் அமைக்கப்பட்டிருப்ப தால் நிறப்பிறழ்ச்சி ஏற்படும். ஆனால் புலவில்லை, கண்வில்லை இரண்டிற்கும் நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை பயன்படுத்தப் பட்டால் நிறப்பிறழ்ச்சி இருக்காது.

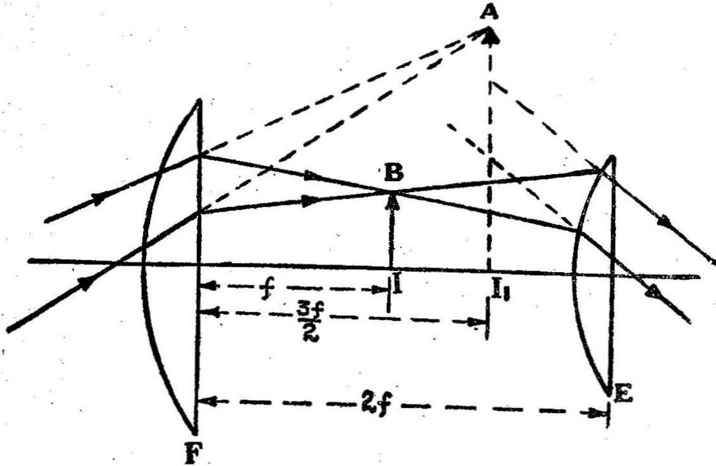
3. மட்டக்குவி வில்லைகளைப் பயன்படுத்துவதன்மூலம் கோளப் பிறழ்ச்சி பெரிதும் குறைக்கப்பட்டுள்ளது.

4. இறுதியாக உண்டாகும் படிவங்களின் உருவ அளவுகளை எடுக்கவேண்டிய இடங்களில் இவ்வகை கண்ணருகிகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. பொருளருகியினால் புலவில்லைக்கு முன்னால் உண்மைப் படிவம் உண்டாக்கப்படுதலினால் இவ்வகை கண் ணருகிகள் நேர் கண்ணருகிகள் (Positive eye-pieces) என்றழைக் கப்படுகின்றன.

9.15. ஹைஜயனின் கண்ணருகித் தொகுப்பு :

இவ்வகை கண்ணருகியிலும் இரண்டு மட்டக்குவி வில்லைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கண்வில்லையின் குவிய தூரம் f எனில்,

புலவில்லையின் குவிய தூரம் $3f$ இருக்குமாறு வில்லைகள் தெரிந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளன. கண்வில்லையின் வளைவு பரப்பு புலவில்லையின் தளபக்கத்தை நோக்கியிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் புலவில்லையின் வளைபரப்பு பொருளருகியை நோக்கி அமைகின்றது. மேலும், நிறப்பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி ஆகிய இரண்டுக்குமான நிபந்தனைகளைச் சரிசெய்யுமாறு இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இரண்டு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம், கண்வில்லையின் குவிய தூரமான f-ஐப்போன்று இரு மடங்கு $[2f]$ இருக்குமாறும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன.



9.19. ஹைஜயனின் கண்ணருகித் தொகுப்பு

பொருளருகு வில்லை [படத்தில் காட்டப்படவில்லை] $I_1 A$-வில் ஒரு மாயப் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றது. இந்த மாயப் படிவம் புலவில்லை F-க்குப் பொருளாக அமைய, புலவில்லை IB-யில் ஒரு உண்மையான படிவத்தை உண்டாக்குகின்றது. படிவம் IB கண் வில்லை E-யின் குவிய தளத்தில் அமைவதனால், இறுதிப்படிவம் முடிவிலாத் தொலைவில் ஏற்படுகின்றது.

முன்போலவே இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தூரத்தினை F எனக் கொண்டால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{3f} - \frac{2f}{f \cdot 3f}$$

$$= \frac{2}{3f}$$

$$\therefore \quad F = \frac{3f}{2} \text{ ஆகும்.}$$

இணைமாற்று வில்லை, புலவில்லைக்குப் பின்பக்கம் d தூரத்தில் அமையுமெனக் கொண்டால்,

$$d = \frac{xF}{f}$$

$$= \frac{2f \cdot 3f_2}{f}$$

$$= 3f$$

வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் $2f$ ஆகையால், இணைமாற்று வில்லை கண்வில்லைக்கும் பின்னால் $(3f - 2f)$, f - தூரத்தில் இருக்கும்.

குறுக்கிணைக் கம்பிகளின் நிலை :

இணைமாற்று வில்லையின் குவிய தூரம் $F = \frac{3f}{2}$ எனப் பார்த்தோம். இணைமாற்று வில்லை கண்வில்லைக்கும் பின்னால் f தூரத்தில் அமையுமாகையால், அதன் குவியதளம் கண்வில்லைக்கு முன்னால் $\frac{f}{2}$ தூரத்தில் இருக்கும். இக் குவிதளத்தில்தான் பொருளருகி உண்டாக்கும் மாயப் படிவம் I_1A உண்டாகவேண்டும். ஆனால் புல வில்லை பொருளருகியிலிருந்து வரும் கதிர்களைத் தடுப்பதனால், படிவம் IB-யில் உண்டாகின்றது. எனவே குறுக்கிணைக் கம்பிகளை IB-யில்தான் வைக்கவேண்டும்.

நாம் முன்பு பார்த்தபடி I_1A கண்வில்லையிலிருந்து $\frac{f}{2}$ தூரத்திலும், புலவில்லையிலிருந்து $\frac{3f}{2}$ தூரத்திலும் உள்ளது. எனவே புலவில்லைக்கு $u = -\frac{3f}{2}$.

வில்லைச் சமன்பாட்டில் புலவில்லைக்கான மதிப்புகளை இட,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$-\frac{2}{3f} + \frac{1}{v} = \frac{1}{3f}$$

$$\therefore \quad v = f$$

புலவில்லையிலிருந்து $v = f$ தூரத்தில் IB அமையும் என்பது தெளிவு. இங்குதான் குறுக்கிணைக் கம்பிகளை வைக்க வேண்டும்.

இவ்வகைத் தொகுப்பில் புலவில்லைக்குப் பின்னால், படிவம் உண்டாக்கப்படுவதால், எதிர் கண்ணருகித் தொகுப்பு (Negative eye-piece) எனவும் சொல்லப்படுவதுண்டு. IB நிலையில் ஒரு அளவுகோலை வைப்போமேயானால், இதன் படிவம் கண்வில்லையில் மட்டுமே உருப்பெருக்கம் அடைகின்றது. ஆனால் இறுதிப் படிவம் என்பது புலவில்லை, கண் வில்லை இரண்டிலும் உண்டாக்கப்பட்ட தோன்றும். எனவே அளவுகோலும், படிவமும் ஒரே அளவுக்கு உருப்பெருக்கம் அடையாது. எனவே அளவுகள் சரியானபடி அமையாது. எனவே உருப்பெருக்கம் மிகக் குறைவான அளவு இருந்தால் மட்டுமே படிவத்தின் உருவை அளக்க குறுக்குக் கம்பிகளுடன் அளவுகோலையும் பயன்படுத்த இயலும்.

நிறைகளும் குறைகளும் :

1) கண்ணருகித் தொகுப்பு நிறப் பிறழ்ச்சி அற்றதாக உள்ளது. ஏனெனில் இரு வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம், நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்க நிபந்தனையைச் சரிசெய்யும் வகையில், அவற்றின் குவிய தூரங்களின் கூடுதலில் பாதியளவு $\left((d = \frac{3f+f}{2} = 2f\right)$ உள்ளது.

2) கோளப்பிறழ்ச்சி அற்றதாக உள்ளது. ஏனெனில் வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம், அவற்றின் குவிய தூரங்களின் வேறுபாட்டிற்குச் $(3f - f = 2f)$ சமமாக உள்ளது. இதுதான் கோளப் பிறழ்ச்சி நீக்கத்திற்கான நிபந்தனை.

3) ஆனால் இவ்வகைக் கண்ணருகித் தொகுப்பில் பார்வைப் புலம் மிகவும் குறைவாக உள்ளது.

9.16. ராம்ஸ்டன் கண்ணருகி, ஹைஜயன் கண்ணருகி இரண்டையும் ஒப்பிடுதல் :

(1) ராம்ஸ்டனின் கண்ணருகி குறைந்த அளவு கோளப் பிறழ்ச்சி இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் நிறப் பிறழ்ச்சி இல்லாமல் இல்லை. ஹைஜயனின் கண்ணருகி நிறப் பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி ஆகியவை நீங்கியதாக உள்ளது.

(2) பொருளருகி ஏற்படுத்தும் படிவம் ராம்ஸ்டன் கண்ணருகியில் புலவில்லைக்குமுன்னால் உண்டாகுவதால் இது நேர் கண்ணருகி என்று கூறப்படுகின்றது. பொருளருகி ஏற்படுத்தும் படிவம் ஹைஜயன் கண்ணருகியில் புலவில்லைக்குப் பின்புறம் இருப்பதால் இது எதிர் கண்ணருகி எனப்படுகின்றது.

(3) ராம்ஸ்டன் கண்ணருகியில் படிவத்தின் உருவ அளவீடு களை எளிதில் எடுக்க இயலும். எடுக்கும் அளவுகள் உண்மை யானவைகளாகவும் உள்ளன. ஹைஜயன் கண்ணருகியில் அளவு கோலும், படிவமும் வெவ்வேறு அளவுக்கு உருப்பெருக்கம் கொள்ளு மாகையால் சரியான அளவை எடுக்க இயலாது.

9.17. எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகள் :

ஒளிவிலகல் தொலைநோக்கிகளில் உள்ள பொருளருகு வில்லைக் குப் பதிலாக, எதிரொளிக்கும் தொலைநோக்கிகளில் பெரிய குழிஆடி யொன்று பயன்படுத்தப்படுகின்றது. கண்ணருகு வில்லை, எப்பொழு தும் போன்று இரு வில்லைகளின் தொகுப்பாகவே இருக்கும்.

எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகள், ஒளிவிலகல் தொலைநோக்கி களை (Refracting telesccpes) விட கீழ்க்காணும் நன்மைகளை யுடையனவாக இருப்பதனால் சிறந்தவையாகும்.

(i) பயன்படுத்தப்படும் குழிஆடியில் நிறப்பிறழ்ச்சி உண்டா காது. எனவே எல்லா நிறக் கதிர்களுக்கும் ஒளி எதிரொளிப்பு விதிகள் ஒன்றேயாகும். பயன்படும் பரப்பு கோளப் பரப்பு எனில் கோளப்பிறழ்ச்சி உண்டாகும். ஆனால் பரவளைய ஆடிப் பரப்புகளைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் கோளப்பிறழ்ச்சியைத் தவிர்த்து விடலாம்.

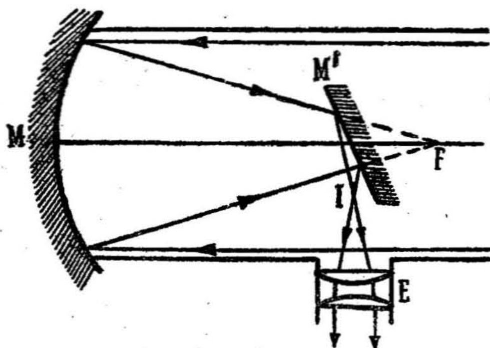
(ii) ஒளி நன்கு எதிரொளிக்கும்படி ஒரே பரப்பை மட்டும் செம்மையாக அமைத்தால் போதுமானது. வில்லையானால் இரண்டு பரப்புகளைச் செம்மைப்படுத்த வேண்டியிருக்கும்.

(iii) ஆடியின் ஒரு பரப்பு மட்டுமே ஒளிக்கதிர்களை நோக்கி இருப்பதனால், ஆடியின் பின் பக்கத்தில் நல்ல பிடிப்புக்களைக் கொண்டு அசைவில்லாமல் தாங்கச் செய்யலாம்.

(அ) நியூட்டனின் எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கி :

முதலில் எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கியை அமைத்தவர் சர் ஐசக் நியூட்டன் ஆவார். அவர் அமைத்த தொலைநோக்கி படம் 9.20-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

தூரப் பொருளொன்றிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் தொலை நோக்கியில் பொருளருகு ஆடி M-ஐ அடைந்த உடன், எதிரொளிக் கப்படுகின்றன. படும் கதிர்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையானவை களாக இருக்குமாதலால், அவை ஆடி M-ன் குவியமான F-ல் குவிக்கப்படும். ஆனால் கதிர்கள் குவிவதற்கு முன்பே, F-க்கு



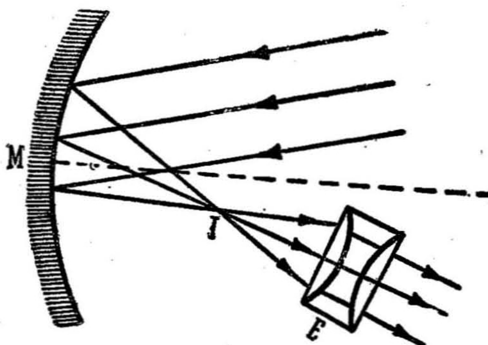
படம் 9.20. நியூட்டனின் எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கி

முன்னால் ஒரு சமதள ஆடி M' சாய்வாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆடி M', கதிர்களை விலகிச் செல்லுமாறு செய்து பொருளின் உண்மையான, தலைகீழ் படிவம் I-ல் ஏற்படும்படிச் செய்கின்றது. இப் படிவம் ஏற்படும் புள்ளி I, கண்ணருகி E-க்குக் குவியமாக இருக்குமாறு கண்ணருகி E அமைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, படிவத்தைத் தெளிவாகப் பார்க்க இயலும்.

ஆடியின் குவியதூரம் F-என்றும், கண்ணருகு வில்லையின் குவிய தூரம் f-என்றும் கொண்டால் தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கம் $= F/f$ ஆகும்.

(ஆ) ஹெர்செல் தொலைநோக்கி

இவ்வகை தொலைநோக்கியில் பொருளருகியாகப் பயன் படுத்தப்படும் ஆடி M, கதிர்கள் படும் திசைக்கு சற்றுச் சாய் வாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனுடைய அமைப்பைப் படம் 9.21-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

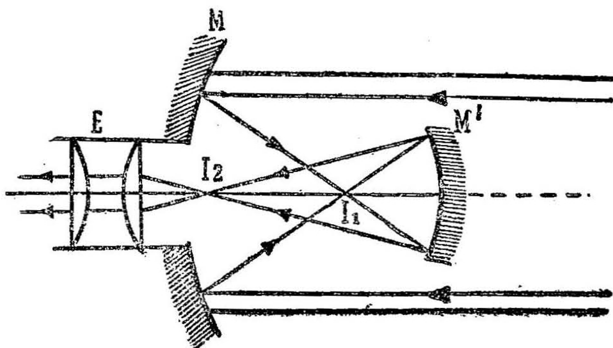


படம் 9.21. ஹெர்சல் தொலைநோக்கி

சாய்வாக அமைக்கப்பட்டுள்ளமையால் படிவம் அதன் அச்சிற்கு ஒரு பக்கமாக தள்ளி I-ல் உண்டாகின்றது. இந்தப் படிவத்தைக் கண்ணருகு வில்லை E-மூலம் பார்க்க இயலுமாறு, E அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

(இ) கிரிகோரியன் தொலைநோக்கி

கிரிகோரியன் (Gregorian) தொலைநோக்கியில் பரவளைய ஆடி M, பொருளருகியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. [படம் 9.22.]

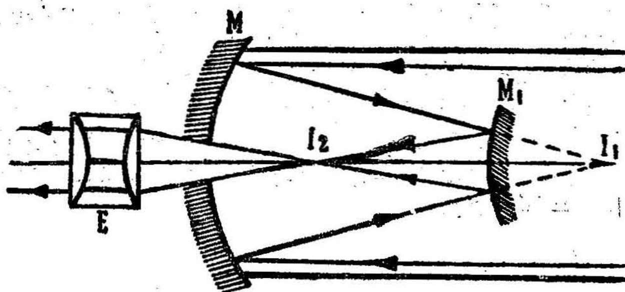


படம் 9.22. கிரிகோரியன் தொலைநோக்கி

இவ்வாடியின் மையத்தில் துளை ஒன்று இடப்பட்டு இத் துளையின் வழியாக இறுதிப் படிவத்தைப் பார்க்க இயலுமாறு கண்ணருகி E அமைக்கப்பட்டுள்ளது. பொருளருகு ஆடி M-ஆல் எதிரொளிக்கப் படும் கதிர்கள் I_1-ல் குவிக்கப்படுகின்றன. நீள்வட்ட ஆடி (Ellipsoidal mirror) M'-க்குப் புள்ளி I_1 ஒரு குவியமாக இருக்குமாறு M' அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் I_1-ல் இருந்து விரிந்து சென்று M' மீது விழும் கதிர்கள், மற்றொரு குவியமான I_2-வில் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றன. புள்ளி I_2, கண்ணருகி E-யினுடைய குவியத்தில் அமையுமானல் படிவத்தைத் தெளி வாகப் பார்க்கலாம்.

(ஈ) கேசிகிரைன் தொலைநோக்கி

கேசிகிரைன் (Cassegrain) தொலைநோக்கியில் குழி ஆடி M பொருளருகு ஆடியாக உள்ளது. இந்த ஆடியின் மையத்தில் துளையொன்று இடப்பட்டு, அத் துளையின் வழியாக இறுதிப் படிவத்தைக் கண்ணருகி E-மூலம் பார்க்க இயலுமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளது. குழி ஆடி எதிரொளிக்கும் கதிர்கள் குவியும் புள்ளி I_1-க்கு முன்பாக I_1-ஐக் குவியமாகக் கொள்ளுமாறு, அதி பரவளைய

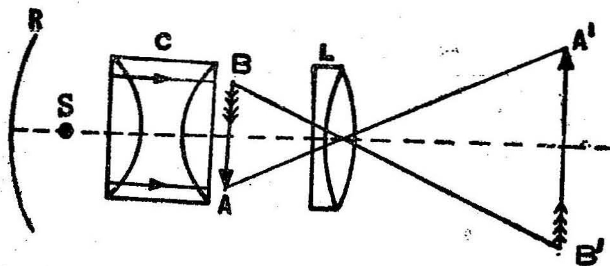


படம் 9.23. கேசிகிரைன் தொலைநோக்கி

(Hyper-boloidal) ஆடி M_1 வைக்கப்பட்டுள்ளது. M_1-ஆல் எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்கள் குவியும் புள்ளி I_2-வில் அமையும் படிவத்தைக் கண்ணருகி E-மூலம் தெளிவாகப் பார்க்க இயலும்.

9.18. வீழ்த்தி

ஒளிபுகும் பொருள்களின் மீது அமைந்துள்ள உருவங்களை, உருப்பெருக்கி, தொலைவில் அமையும் திரையொன்றின் மீது படிவங்களை உண்டாக்குவதற்கு வீழ்த்தி (Projection lantern) பயன்படுகின்றது. படம் 9.24-ல் வீழ்த்தியொன்றின் அமைப்புக் காட்டப்பட்டுள்ளது.



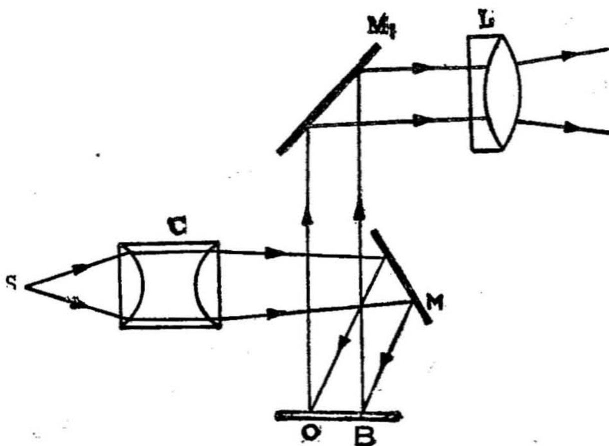
படம் 9.24. மாய வீழ்த்தி

S என்பது பொலிவுமிக்க ஒளிமூலம். ஒளிமூலத்தில் இருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், இரண்டு மட்டக் குவி வில்லைகளினால் ஆன அமைப்பு C மூலம் குவிக்கப்படுகின்றன. S-க்குப் பின்புறம், நன்கு எதிரொளிக்கும் பரப்பைக்கொண்ட எதிரொளிப்பான் (Reflector) R வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் ஒளிமூலத்திலிருந்து பின் பக்கமாகச் செல்லும் கதிர்கள் எதிரொளிக்கப்பட்டு, குவிப்பான் C-யின் மீது விழும்படி செய்யப்படுகின்றன. எனவே, பொலிவுமிக்க ஒளி

C-யினின்று வெளியேறுகின்றது. குவிப்பான் C-ஐ அடுத்து நிழல் படம் (Slide) AB தலைகீழாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. இஃது சீராகவும், பொலிவுடனும் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ளது. நிழற் படத்தின் மூலம் செல்லும் கதிர்கள், வீழ்த்தும் வில்லை (Projecting lens) L மூலம் திரையை அடைகின்றன. வில்லை L-க்கு AB பொருளாக அமைவதனுல் திரையின்மீது உருப்பெருக்கப்பட்ட நேரான படிவம் கிடைக்கின்றது.

9.19. எபிஸ்கோப் (Episcope)

ஒளிபுகும் பொருள்களின்மீது அமையும் உருவத்தை வீழ்த்தி மூலம் திரையில் விழும்படிச் செய்யலாம். ஒளிபுகாப் பொருள்களின் மீது அமையும் உருவங்களை உருப்பெருக்கி திரையின்மீது ஏற்படுமாறு செய்யும் கருவி எபிஸ்கோப் ஆகும். எபிஸ்கோப் ஒன்று செயல்படும் முறையைப் படம் 9.25 காட்டுகின்றது. பொலிவுமிக்க ஒளிமூலம் S-லிருந்து வரும் ஒளியால், குவிப்பான் C, சமதள ஆடி M ஆகியவற்றின் மூலம் பொருள் OB ஒளியூட்டப்படுகின்றது.

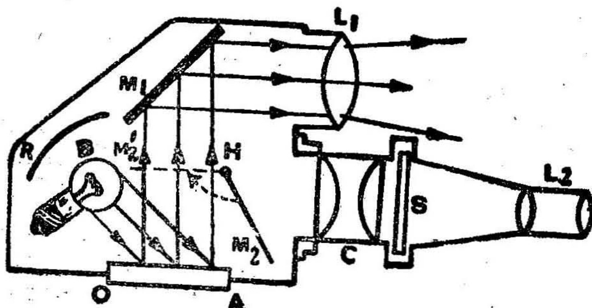


படம் 9.25. எபிஸ்கோப்

பொருள் எதிரொளிக்கும் ஒளியானது முன்பக்கம் ரசம் பூசப்பட்ட ஆடி M_1-ன்மீது விழுகின்றது. ஆடி M_1 பொருளிலிருந்து வரும் கதிர்களுக்கு 45° அளவில் சாய்ந்துள்ளமையால் திசை திருப்பப்பட்டு, வீழ்த்தும் வில்லை L-ன் மூலம் திரையை அடைகின்றது. திரையில் உருப்பெருக்கமடைந்த பொருளினுடைய படிவம் ஏற்படுகின்றது.

9.20. எபிடயஸ்கோப் :

முன் பகுதிகளில் பார்த்த வீழ்த்தியொன்றையும், எபிஸ்கோப் ஒன்றையும் இணைத்த அமைப்பே எபிடயஸ்கோப் (Epidiascope) எனப்படும். படம் 9.26. எபிடயஸ்கோப்பொன்றின் அமைப்பைக்



படம் 9.26. எபிடயஸ்கோப்

காட்டுகின்றது. ஒளிபுகாப் பொருளொன்றின் படிவத்தை உண்டாக்கும்பொழுது, OA-வில் பொருள் வைக்கப்படுகின்றது. பொலிவுமிக்க விளக்கு B-யிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் பொருளின்மீது பட்டு விரவல் (Diffusion) அடைகின்றன. விரவல் அடைந்த ஒளிக்கதிர்கள் ஆடி M_1-ல் பட்டு எதிரொளிக்கப் படுகின்றன. எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் வில்லை L_1 மூலம் சென்று திரையில் பொருளின் படிவத்தை உண்டாக்குகின்றன. இது எபிஸ்கோப்பின் பாகமாகும்.

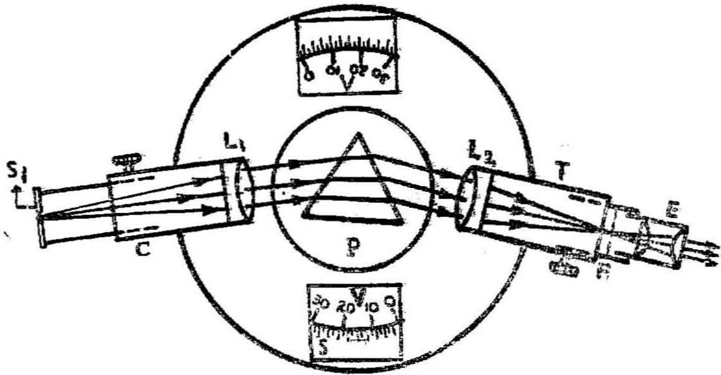
ஒளிபுகும் நிழற் படத்தினை வீழ்த்தும்பொழுது HM_2 மேல் நோக்கிச் சென்று HM'_2 நிலையை அடையும். இதனல் ஆடி M_1-க்கு ஒளிக்கதிர்கள் செல்லுவது தடுக்கப்படும். அதே நேரத்தில் ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் கதிர்கள் நேராகவும், ஆடி R-ல் எதிரொளிக் கப்பட்டும் குவிப்பான் C-யை அடையும். எனவே C-யிலிருந்து ஒளிக்கதிர்கள் S-ல் வைக்கப்பட்டிருக்கும் நிழற் படத்தினை சீராக ஒளியூட்டும். ஒளியூட்டப்பட்ட நிழற் படம் வில்லை L_2-க்குப் பொருளாக அமைய, திரையில் உருப்பெருக்கடைந்த படிவம் கிடைக்கும். இது வீழ்த்தியின் பாகமாகும்.

எனவே ஒளிபுகாப் பொருள், ஒளிபுகும் பொருள் இரண்டையும் வீழ்த்தும் வகையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது எபிடயஸ்கோப் ஆகும்.

9.21. நிறமாலைமானி :

நிறமாலைமானி (Spectrometer)-யைப் பயன்படுத்தி ஒரு திடப் பொருள், திரவம் ஆகியவைகளின் ஒளிவிலகல் எண்ணைத் தீர்மானிக்கலாம். மேலும் ஒளிமூலமொன்று வெளியிடும் ஒளியில் அமையும் ஆக்கக் கூறு ஒளியலைகளின் அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம்.

நிறமாலைமானியின் முக்கியமான பாகங்களான இணையாக்கி (Collimator) C, தொலைநோக்கி T, பட்டகமேடை (Prism table) P ஆகியவை படம் 9.27-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 9.27. நிறமாலைமானி

(அ) இணையாக்கி :

இணையாக்கி, ஒளிக்கற்றைகளை இணைக்கதிர்களாக அனுப்பும் அமைப்பாகும். இதில் ஓரச்சைக்கொண்ட இரு செப்புக் குழாய்கள் இருக்கின்றன. ஒரு குழாயின் முனையொன்றில், சரிசெய்யக்கூடிய பிளவு (Slit) S_1 பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மற்றக் குழாயின் முனையொன்றில் குவிவில்லை L_1 பொருத்தப்பட்டுள்ளது. பிளவு பொருத்தப்பட்ட குழாய், வில்லை பொருத்தப்பட்ட குழாயினை விட குறைந்த ஆரம் கொண்டதாகும். எனவே, வில்லை பொருத்தப்பட்டுள்ள குழாயினுள், பிளவு பொருத்தப்பட்டுள்ள குழாய் முன்னும் பின்னும் நகருமாறு திருகு அமைப்பொன்றின் மூலம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இதனால் வில்லைக்கும் பிளவுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவை மாற்றி அமைக்க முடியும். பிளவு ஒளியூட்டப்படும்பொழுது, வில்லையின் குவியத்தில் அமைந்திருக்குமேயானால், வில்லையிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்கள் இணைக்கதிர்களாக இருக்கும். மேலும் இணையாக்கி நிறமாலைமானியின் பீடத்துடன் நிலையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

(ஆ) தொலைநோக்கி :

இஃது ஒரு வானியல் தொலைநோக்கியாகும். இதில் ஓரச்சைக் கொண்ட இரு குழாய்கள் உள்ளன. ஒன்றினுடைய ஒரு முனையில் பொருளருகி L_2-வும், மற்றதின் ஒரு முனையில் கண்ணருகி E-யும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. கண்ணருகி பொருத்தப்பட்டுள்ள குழாய் பொருளருகி பொருத்தப்பட்டுள்ளதைவிட குறைந்த ஆரம் கொண்டதாகையால், பொருளருகி பொருத்தப்பட்டுள்ள குழாயினுள் முன்னும் பின்னும் நகருமாறு திருகு அமைப்பொன்றின் மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு நகரும்பொழுதும் ஓரச்சையே கொண்டிருக்கும். இதில் ராம்ஸ்டன் வகைக் கண்ணருகி E பொருத்தப்பட்டுள்ளது. எனவே அளவீடுகளை எடுக்கும்பொழுது பயனுள்ளதாக அமைய, புலவில்லைக்கு முன்னால் உள்ள குவிய தளம் F-ல் குறுக்குக் கம்பிகள் (Cross-wires) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. பீடத்தின் மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் குத்து அச்சொன்றின் மீது சுழலும் வகையில் அமைந்துள்ள வட்ட அளவுகோல் (Circular Scale) S-உடன் இத் தொலைநோக்கி இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் தொலைநோக்கியைச் சுழற்றினால் அளவுகோலும் சுழலும். இந்த அளவுகோல் பாகைகளிலும், அரைப் பாகைகளிலும் அளவீடு செய்யப்பட்டிருக்கும்.

இணையாக்கியின் அச்சும், தொலைநோக்கியின் அச்சும் ஒரே கிடைத்தளத்தில் அமையுமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. தொலைநோக்கி எளிதில் சுழலும் அமைப்பைக் கொண்டுள்ளமையால் தேவையான இடங்களில் நிலைப்பாக்க ஆரத்திருகு (Radial screw) ஒன்று உள்ளது. ஆரத்திருகின் மூலம் நிலைப்பாக்கிய பின்னர் நுண்ணிய அளவு சுழலுமாறு செய்ய தொடுவியல் திருகு (Tangential screw) ஒன்று பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

(இ) பட்டகமேடை :

பட்டகம் அல்லது கீற்றணி (Grating)-யை வைப்பதற்குப் பட்டக மேடை, நிறமாலையின் மையத்தில் அமைந்துள்ளது. தொலை நோக்கி சுழலும் அச்சைப்பற்றியே இம் மேடையும் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இரண்டு வட்டுகள் ஒன்றின்மேல் ஒன்று வைக்கப்பட்டு, சுருள் வில்களுடன் கூடிய திருகுகளின் மூலம் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இதனால் பட்டக மேடையைக் கிடை நிலையாக அமைக்க இயலும். மேலும் மையத்தில் உள்ள நீண்ட ஆரத் திருகின் மூலம் மேடையின் உயரத்தைக் கூட்டவோ, குறைக்கவோ இயலும். இதனுடன், ஒன்றுக்கொன்று 180° கொள்ளுமாறு இரண்டு வெர்னியர் அளவுகோல்கள் V, V பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

இந்த வெர்னியர் அளவுகோல்கள் பட்டகமேடை சுழலும்பொழுது, அதனுடன் வட்ட அளவுகோலின்மேல் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. பட்டக மேடையை நிலைப்பாக்க ஒரு திருகும், சிறு சுழற்சிகளை உண்டாக்க ஒரு தொடுவியல் திருகும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இவ்வமைப்புகளினால் பட்டகமேடை நிலையாக இருந்து, தொலைநோக்கிச் சுழற்றப்பட்டாலோ, அல்லது தொலைநோக்கி நிலையாக இருந்து பட்டகமேடைச் சுழற்றப்பட்டாலோ, சுழற்றப்பட்ட கோண அளவுகளை எடுக்க இயலும்.

9.22. ஆய்விற்கு முன்னர் நிறமாலைமானியைச் சரிசெய்தல் :

ஆய்வைத் தொடங்குவதற்குமுன்னர் நிறமாலைமானியில் கீழ்க்காணும் மிக முக்கியமான நான்கு அமைவுகளைச் சரி செய்ய வேண்டும்.

(அ) கண்ணருகித் தொகுப்பு :

தொலைநோக்கியை, வெண்சுவர் ஒன்றினை நோக்குமாறு வைத்து, கண்ணருகியை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தித் தெளிவான குறுக்குக் கம்பிகள் தோன்றுமாறு செய்யவேண்டும்.

(ஆ) தொலைநோக்கியைச் சரிசெய்தல் :

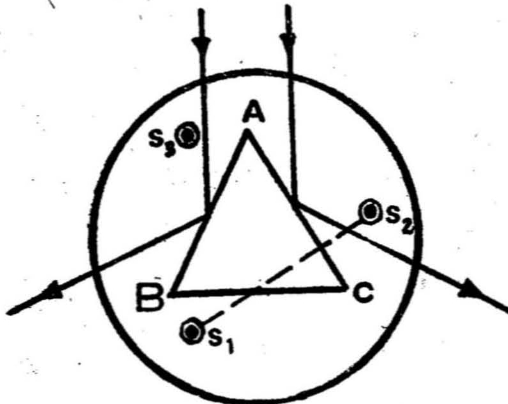
தொலைநோக்கியை இறுதியாக வந்தடையும் கதிர்கள் இணைக் கதிர்களாகையால், அவற்றைக்கொண்டு தெளிவான படிவம் உண்டாகும் வகையில் சரிசெய்யவேண்டும். தூரப் பொருளொன்றிலிருந்து வரும் கதிர்களை இணைக்கதிர்களாகக் கொள்ளலாமாகையால், தொலைநோக்கியை தூரப்பொருளொன்றினை நோக்கி வைத்து, அதனுடைய தெளிவான படிவத்தை உண்டாக்க வேண்டும். ஆய்வு முடியும் வரை இந்த அமைப்பை மாற்றக்கூடாது.

(இ) இணையாக்கியைச் சரிசெய்தல் :

ஒளிமூலம், இணையாக்கி, தொலைநோக்கி ஆகிய மூன்றும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் அமையுமாறு செய்துகொள்ள வேண்டும். இணையாக்கியில் உள்ள பிளவினை குறுகியதாகக்கொண்டு, ஒளிக் கதிர்கள் அதன்மூலம் தொலைநோக்கியை அடையும்படிச் செய்ய வேண்டும். தொலைநோக்கியில் பிளவின் படிவம் கிடைக்கும். கிடைக்கும் படிவம் தெளிவற்ற நிலையிலிருந்தால் இணையாக்கியில் உள்ள திருகின்மூலம், பிளவுக்கும் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தைச் சரிசெய்தால், ஒரு நிலையில் தொலைநோக்கியில் சரியான படிவம் கிடைக்கும். இந்நிலையில் இணையாக்கியிலிருந்து வரும் கதிர்கள் இணையானவை ஆகும்.

(ஈ) பட்டக மேடையைச் சரி செய்தல்:

இரச மட்டம் (Spirit level) ஒன்றைக் கொண்டு பட்டக மேடையைச் சரிசெய்ய வேண்டும். பட்டக மேடையில் மூன்று சரிமட்டத் திருகுகள் உள்ளன. அவற்றைப் படம் 9.28-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு S_1, S_2, S_3 எனக் கொள்வோம்



படம் 9.28.

முதலில் இரச மட்டத்தை S_1, S_2 இவற்றை இணைக்கும் கோட்டிற்கு இணையாக வைத்து, திருகுகளைச் சரிசெய்து காற்றுக் குமிழ் மையத்தில் இருக்கும்படிச் செய்யவேண்டும். பின்னர் இரச மட்டத்தை S_1, S_2 இவற்றை இணைக்கும் கோட்டிற்கு நேர்க்குத்தாக வைத்து, திருகு S_3-ஐச் சரிசெய்து மீண்டும் காற்றுக் குமிழ் மையத்திற்கு வரும்படிச் செய்யவேண்டும். மீண்டும் இரச மட்டத்தை S_1, S_2-க்கு இணையாக வைத்து சரிபார்த்துக் கொள்ள வேண்டும்.

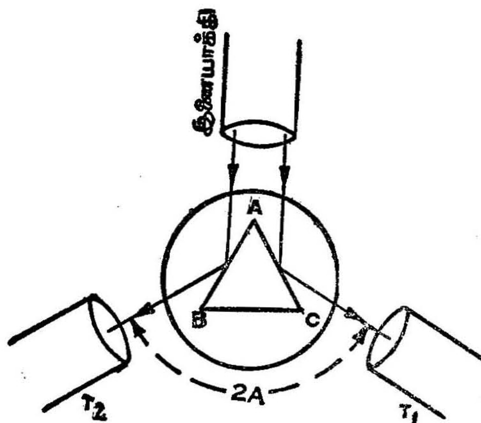
பட்டகத்தினைக் கொண்டும் பட்டக மேடையைச் சரிசெய்யலாம். பட்டகத்தினை படம் 9.28-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, சரிமட்டத் திருகுகள் S_1, S_2 இவற்றை இணைக்கும் கோடு, பட்டகத்தின் AC பக்கத்திற்கு நேர்க்குத்தாக இருக்குமாறு வைக்கவும். அப்பொழுது பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம் A, இணையாக்கியை நோக்கி இருக்குமாறும் பார்த்துக் கொள்ள வேண்டும். பக்கம் AC-ல் எதிரொளிக்கும் ஒளி தொலைநோக்கியை அடையுமாறு, தொலைநோக்கியைச் சுழற்றவும். தொலைநோக்கியில் தெரியும் படிவத்தினைப் பார்த்துக் கொண்டே, திருகுகள் S_1, S_2 இரண்டையும் சரிசெய்து, படிவம் பார்வைப் புலத்தின் மையத்தில் அமையுமாறு செய்யவும். பின்னர் தொலைநோக்கியைக் சுழற்றி

AB-பக்கத்தில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளி ஏற்படுத்தும் படிவத்தை பார்வைப் புலத்தில் உண்டாக்க வேண்டும். உண்டாகும் படிவம் பார்வைப் புலத்தின் மையத்தில் அமையுமாறு S_3-ஐச் சரிசெய்ய வேண்டும். இங்கு S_3-ஐச் சரிசெய்வதினால் AC-பக்கத்தில் ஏற்படுத்திய கிடைநிலை அமைவு பாதிக்கப்படாது.

இரு பக்கங்களிலும் பார்வைப் புலத்தின் மையத்தில் படிவம் ஏற்பட்டால், பட்டக மேடையின் தளம் கிடைத்தளமாக இருக்கும்.

9.23 பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம் தீர்மானித்தல் :

நிறமாலைமானியில் அமைப்புகளை மேற்கூறியவாறு சரிசெய்த பின்னர், பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம் இணையாக்கியின் வில்லையை நோக்கி இருக்குமாறு படம் 9.29-ல் உள்ளதுபோல்



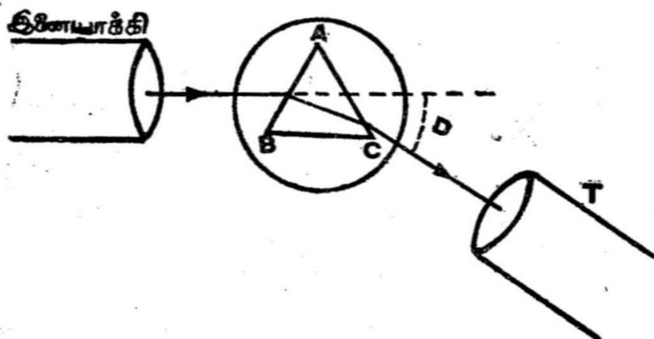
படம் 9.29 நிறமாலைமானியைக் கொண்டு பட்டகத்தின் விலகல் கோணம் காணல்

பட்டகத்தை வைக்க வேண்டும். பக்கங்கள் AB, AC ஆகியவை களின் மீது படும் கதிர்கள் எதிரொளிக்கப்படும். முதலில் AB எதிரொளிக்கும் கதிர்களை நோக்கி தொலைநோக்கியைச் சுழற்றினால், ஒரு நிலையில் பிளவின் தெளிவான படிவம் கிடைக்கும். பிளவின் படிவம் பார்வைப் புலத்தில் தெரிந்தவுடன் தொலைநோக்கியை நிலையாக்க வேண்டும். பின்னர் தொடுவியல் திருகின் மூலம் சிறிதளவு சுழற்சி ஏற்படுத்திக் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் படிவம் பொருந்தும்படிச் செய்ய வேண்டும். இந்நிலையை T_1 எனக் கொள்வோம். வட்ட அளவு கோலில் வெர்னியரின் துணை கொண்டு துல்லியமான அளவை எடுத்துக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

பின்னர் தொலைநோக்கியைச் சுழற்றி AC எதிரொளிக்கும் கதிர்களை நோக்கி வைக்க வேண்டும். முன்போலவே தெளிவான படிவம் கிடைக்கும் வரை சுழற்றி, படிவத்தைக் குறுக்குக் கம்பியுடன் பொருந்தும்படிச் செய்யவும். இந்நிலையை T_2 எனக் கொள்வோம். முதலில் அளவு எடுத்த அதே வெர்னியரைக் கொண்டு அளவை எடுக்க வேண்டும். இரண்டு அளவுகளுக்கும் இடைப்பட்ட வேறுபாடு, பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணத்தைப் போன்று இரு மடங்காகும். இதிலிருந்து பட்டகத்தின் கோணம் A-யைக் கணக்கிடலாம்.

9.24. சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தைத் தீர்மானித்தல் :

பட்டகத்துடன், பட்டக மேடையை மட்டும் சுழற்றி ஒளி விலகல் பக்கம் AB-யின் மீது இணையாக்கியிலிருந்து வரும் கதிர்கள் படும்படிச் செய்யவேண்டும். படும் கதிர்கள் ஒளிவிலகலுக்குப் பின்னர் பக்கம் AC-யின் வழியாக விடுபடும். பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல் அடையும் கதிர்கள் அடிப்பாகத்தை நோக்கியே திசை மாற்றமடையும் என்பது தெரிந்ததொன்றாகும். எனவே படம் 9.30-ல் உள்ளவாறு BC-ஐ நோக்கி வளைந்து AC-யிலிருந்து கதிர் விடுபடும். தொலைநோக்கியைச் சுழற்றி, விடுபடும் கதிர்களை நோக்கி வைத்தால், பிளவின் படிவம் பார்வைப் புலத்தில் தோன்றும். தொலைநோக்கியின் மூலம் பார்த்துக் கொண்டே தோன்றும் பிளவின் படிவம் நிறமாலைமானியின் அச்சை நோக்கி



படம் 9.30 பட்டகத்தின் சிறும திசைமாற்றக் கோணம் காணல்

நகருமாறு தேவையானதொரு திசையில் பட்டக மேடையைச் சுழற்றவும். இவ்வாறு சுழற்றுவதினால் திசைமாற்றக் கோணம் குறைகின்றது. சுழற்றும்போது படிவம் தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்திலிருந்து மறையாவண்ணம், தொலைநோக்கியையும் சுழற்றிக் கொள்ள வேண்டும். இவ்வமைவுகளுடன்

பட்டக மேடையை ஒரே திசையில் சுழற்றிக் கொண்டிருந்தால், படிவம் குறிப்பிட்டதொரு நிலைவரை நகர்ந்து, நின்று, மீண்டும் திரும்பி எதிர்த் திசையில் நகரும். படிவம் நிற்கும் நிலையில், பட்டக மேடையை எந்தத் திசையில் திருப்பினுல் அதற்குமேல் அச்சை நோக்கி படிவம் நகராதோ, இந்நிலைதான், சிறும திசைமாற்றம் ஏற்படும் நிலையாகும். இந்நிலையில் பட்டகமேடையைப் பொருத்தி விடவேண்டும். தொலைநோக்கியைச் சுழற்றிப் பிளவின் படிவம் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் பொருந்துமாறு செய்து அளவு S_1-ஐக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். பின்னர் பட்டகத்தினை எடுத்து விட்டு, தொலைநோக்கியைச் சுழற்றி நேரடியாகக் கிடைக்கும் படிவத்தினைக் குறுக்குக் கம்பியுடன் பொருந்துமாறு செய்து அளவு S_2-வைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். அளவுகள் S_1, S_2 இரண்டுக்குமிடைப்பட்ட வேறுபாடு சிறும திசைமாற்றக் கோண மாகும். இஃது D என்று குறிக்கப்படும்.

9.25. பட்டகத்தின் பருப்பொருளின் விலகல் எண் μ

பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம் A, சிறும திசை மாற்றக் கோணம் D ஆகியவை தெரிந்தால், ஒளிவிலகல் எண் μ-வை

$$\mu = \frac{\text{சைன்}\ \dfrac{A+D}{2}}{\text{சைன்}\ \dfrac{A}{2}}$$

என்னும் சமன்பாட்டைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். உள்ளீடற்ற பட்டகம் (Hollow prism) ஒன்றைப் பயன்படுத்தி திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம். உள்ளீடற்ற பட்டகம் மெல்லிய கண்ணாடிச் சுவர்களைக் கொண்டிருக்குமாதலால் அதனுள் திரவத்தை நிரப்பி, சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தைக் கண்டு திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ-ஐ மேற்கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம்.

9.26. பட்டகத்தின் பிரிதிறன் காணல் :

ஒளிபுகும் ஊடகமொன்றின் பிரிதிறனை நிறமாலையைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். சூரிய நிறமாலையில், F, C, D வரிகளுக்கான ஒளிவிலகல் எண்களை முறையே μ_F, μ_C, μ_D எனக் கொண்டால் இம் மதிப்புகளை நிறமாலைமானியின் மூலம் கணக் கிடலாம். ஆனுல் பட்டகத்தின் பிரிதிறன் ω எனில்,

$$\omega = \frac{\mu_F - \mu_C}{\mu_D - 1}$$ என்பது

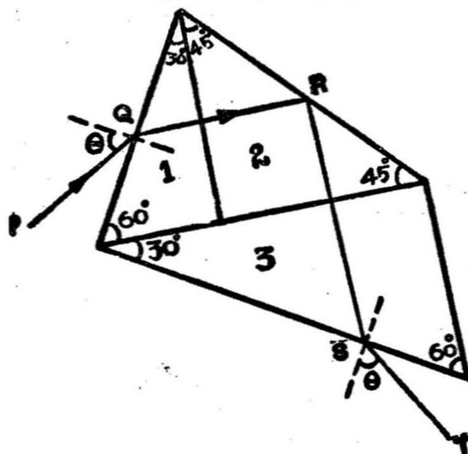
தெரிந்ததொன்றாகும். எனவே μ_F, μ_C, μ_D மதிப்புகளைக் கொண்டு ω-வைக் கணக்கிடலாம்.

பொதுவாக ஏதாவது இரு நிறக் கதிர்களுக்கிடைப்பட்ட பிரிதிறனைக் கணக்கிட வேண்டுமெனில், அவ்விரு கதிர்களுக்குமான ஒளிவிலகல் எண்களைக் கணக்கிட வேண்டும். அவற்றை முறையே μ_1, μ_2 எனக் கொண்டால்,

$$\text{பிரிதிறன் } \omega = \frac{\mu_1 \sim \mu_2}{\frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - 1} \quad \text{ஆகும்.}$$

9.27. திசையுரு நிறமாலைமானி

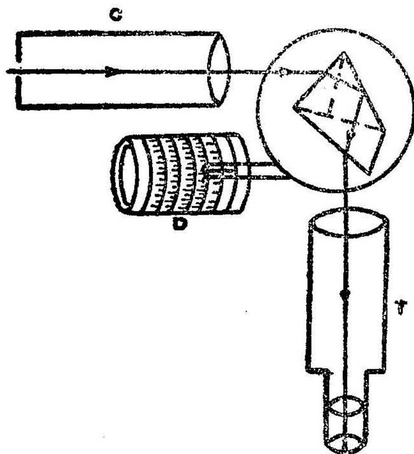
நிறமாலைமானியில் படுகதிர், பலவிதமான கோணங்களுக்கு திசைமாற்றம் செய்யப்படுகின்றது. ஆனால் திசையுரு நிறமாலைமானி (Constant deviation Spectrometer)யில் படுகதிர் சரியாக 90° திசைமாற்றமடைவதுடன் நிறப்பிரிகையும் அடையும். இதற்கு சிறப்பு அமைப்பு கொண்ட, படம் 9.31-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற பட்டகம் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.



படம் 9.31.

இப் பட்டகத்தினை மூன்று செங்கோணப் பட்டகங்களின் தொகுப்பு எனக்கருதலாம். (1) என்ற எண்ணிட்ட 60°–30°–90° பட்டகம், (2) என்ற எண்ணிட்ட 45°–45°–90° பட்டகம் (3) என்ற எண்ணிட்ட 30°–60°–90° பட்டகம் ஆகியவை அம் மூன்று பட்டகங்களாகும். PQ என்னும் படுகதிருக்கும் ST என்னும் விடுகதிருக்கும் இடைப்பட்டக் கோணம் 90° இருக்கும். Q-வில் விலகலடைந்த கதிர் R-ல் 45° படு கோணத்தில் விழும். இக்

கோண மதிப்பு, மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருப்பதனால் முழு அக எதிரொளிப்பு மூலம் S-ஐ அடைகின்றது. S-ல் விலகலடைந்து ST-திசையில் செல்கின்றது.



படம் 9. 32. திசையுறு நிறமாலைமானி

இவ்வகைப் பட்டகமொன்றை நிறப்பிரிகை ஏற்படுத்தும் ஊடகமாகக் கொண்ட திசையுரு நிறமாலைமானி படம் 9.32-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படும் எக்கதிரும் 90° திசைமாற்றமடைவதினால், இணையாக்கி C-யும் தொலைநோக்கி T-யும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க் குத்தாகவும், உறுதியான அடிப்பீடத்துடன் நிலையாகவும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இணையாக்கியின் பிளவானது ஒளி மூலமொன்றிலிருந்து வரும் ஒளியால் ஒளியூட்டப்படும்பொழுது, அவ்வொளியின் நிறமாலை தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் தோன்றும். இப்பொழுது பட்டக மேடையை அதனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள திருகொன்றின் மூலம் சுழற்றினால், நிறமாலையில் அமைந்துள்ள வெவ்வேறு நிறங்களுக்கான வரிகள் (Lines) ஒவ்வொன்றாகப் பார்வைப் புலத்தைக் கடந்து செல்லும். திருகின் ஒரு முனை பொருத்தப்பட்டுள்ள உருளை D-யின் மீதே அளவீடுகள் அலைநீளத்தில் குறிக்கப்பட்டுள்ளமையால், குறுக்குக் கம்பியுடன் பொருந்தும் வரியின் அலைநீளத்தை நேரடியாகப் பெற இயலும். இவ்வமைப்பைக் கொண்டு எந்த ஒரு ஒளிமூலத்திற்கான நிறமாலையையும் பெற இயலும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) கூட்டு நுண்ணோக்கியொன்று 1 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட பொருளருகி, 5 செ.மீ. குவிய தூரம் கொண்ட கண்ணருகி ஆகியவற்றைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. பொருளருகியிலிருந்து பொருளொன்று 11 மி. மீ. தொலேவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இறுதிப் படிவம் கண்ணிலிருந்து 25 செ. மீ. தொலேவில் அமைகின்றது. உருப்பெருக்கத்தையும் வில்லேகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தையும் கணக்கிடுக,

பொருளருகி வில்லேயின் குவிய தூரத்தை f_1 என்றும், கண்ணருகியின் குவிய தூரத்தை f_2 என்றும் கொள்க.

பொருளருகி உண்டாக்கும் படிவத்தினைக் கருத,

$u = 1.1$ செ. மீ. ; $f_1 = 1$ செ. மீ. $v = ?$

$$\frac{1}{1.1} + \frac{1}{v} = \frac{1}{1}$$

$$v = 11 \text{ செ. மீ.}$$

எனவே பொருளருகியிலிருந்து 11 செ. மீ. தொலேவில் படிவம் உண்டாகின்றது.

$$\text{உருப்பெருக்கம் } m_1 = \frac{v}{u}$$

$$= \frac{11}{1,1} = 10.$$

பொருளருகியினல் உண்டாகும் படிவம் கண்ணருகிக்குப் பொருளாக அமைந்து இறுதிப் படிவம் கண்ணருகியிலிருத்து 25 செ. மீ. தொலேவில் அமைகின்றது. எனவே பொருள் தொலேவை u' என்றும் படிவத் தொலேவை v' என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{1}{u'} + \frac{1}{-25} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{u'} = \frac{6}{25}$$

$$\therefore u' = \frac{25}{6} \text{ செ. மீ. ஆகும்.}$$

கண்ணருகி ஏற்படுத்தும் உருப்பெருக்கம் m_2 எனில்,

$$m_2 = \frac{v^1}{u^1} = \frac{25}{\frac{25}{6}} = 6$$

∴ மொத்த உருப்பெருக்கம் $M = m_1 \times m_2$

$$= 10 \times 6 = 60$$

இரு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் $= v + u'$

$$= 11 + \frac{25}{6}$$

$$= \frac{91}{6}$$

$= 15.16$ செ. மீ.

(2) 1 செ. மீ., 5 செ. மீ. குவிய தூரங்கள் கொண்ட வில்லைகளைக் கொண்டு, அவைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் 20 செ. மீ. இருக்குமாறு கூட்டு நுண்ணோக்கி ஒன்று அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இறுதிப் படிவம் 25 செ. மீ. தொலைவில் தெளிவாகத் தோன்றுகின்றது. பொருள் வைக்கப்பட வேண்டிய இடத்தையும் உருப்பெருக்கத்தையும் கணக்கிடுக.

கண்ணருகியில் தோன்றும் படிவத்தினைக் கருதவும்.

$v^1 = -25$ செ. மீ.; $f_2 = 5$; $u^1 = ?$

$$\frac{1}{u^1} - \frac{1}{25} = \frac{1}{5}$$

எனவே,

$u^1 = \frac{25}{6}$ செ. மீ.

கண்ணருகி ஏற்படுத்தும் உருப்பெருக்கம் m_2 எனில்,

$$m_2 = \frac{v^1}{u^1}$$

$$= \frac{25}{\frac{25}{6}} = 6$$

இரு வில்லைகளுக்கும் இடைபபட்ட தூரம் 20 செ. மீ. எனவே பொருளருகி ஏற்படுத்தும் படிவம், பொருளருகியிலிருந்து அமையும் தொலைவு $v = 20 - \frac{25}{6} = \frac{95}{6}$ செ. மீ. ஆகும்.

பொருளருகி படிவம் ஏற்படுத்துதலைத் கருத,

$$v = \frac{95}{6} \text{ செ. மீ.}; \; f_1 = 1; \; u = ?$$

$$\frac{1}{u} + \frac{6}{95} = 1$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} = \frac{89}{95}$$

$$\therefore \quad u = \frac{95}{89} = 1.07 \text{ செ. மீ.}$$

பொருளருகி ஏற்படுத்தும் உருப்பெருக்கத்தை m_1 எனக் கொண்டால்,

$$m_1 = \frac{v}{u}$$

$$= \frac{\frac{95}{6}}{\frac{95}{89}}$$

$$= \frac{89}{6}$$

$$\therefore \quad \text{மொத்த உருப்பெருக்கம்} = m_1 \times m_2$$

$$= \frac{89}{6} \times 6 = 89$$

(3) வானியல் தொலைநோக்கி யொன்றில் நேர்குத்தான அமைப்புக்கு பொருளருகிக்கும், கண்ணருகிக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 105 செ. மீ. ஏற்படும் உருப்பெருக்கம் 20. அண்மைப் பொருள் ஒன்றினைத் தெளிவாகக் குவிப்பதற்குக் கண்ணருகி மேலும் 5 செ. மீ. பின்னோக்கி இழுக்கப்படுகின்றது. அண்மைப் பொருள் அமைந்துள்ள தொலைவினைக் கணக்கிடுக.

பொருளருகியின் குவிய தூரத்தை F எனவும் கண்ணருகியின் குவிய தூரத்தை f எனவும் கொள்வோம்.

எனவே, தூரப் பொருளுக்கும். பொருளருகிக்கும் இடைப்பட்ட தூரம்

$$= F + f$$

$$= 105 \text{ செ. மீ.}$$

உருப்பெருக்கம் $= \dfrac{F}{f} = 20$

எனவே $F = 20f$

$$\therefore \quad (F + f) = 21f = 105$$

$$\therefore \quad f = 5 \text{ செ. மீ.}$$

$$F = 100 \text{ செ. மீ.}$$

அண்மைப் பொருளைத் தெளிவாகக் குவிப்பதற்கு, கண்ணருகி 5 செ. மீ. மேலும் பின்னோக்கி இழுக்கப்படுகின்றது. அண்மைப் பொருளின் தெளிவான படிவம் ஏற்பட, பொருளருகி ஏற்படுத்தும் படிவம், கண்ணருகியின் குவியத்தில் அமைய வேண்டும். எனவே, கணக்கின்படி, பொருளருகி ஏற்படுத்தும் உண்மைப் படிவம் 105 செ. மீ. தொலைவில், கண்ணருகிக்கு முன்னால் 5 செ. மீ. தொலைவில் அமையும்.

எனவே, பொருளருகிக்கு, $v = 105$ செ. மீ. ஆகும்.

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{F} \text{ என்னும் சமன்பாட்டில்}$$

$$\frac{1}{105} + \frac{1}{u} = \frac{1}{100} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \quad u = \frac{105 \times 100}{105 - 100}$$

$$= 2100 \text{ செ. மீ.}$$

$$= 21 \text{ மீட்டர்}$$

4. கலீலியன் தொலைநோக்கியொன்றில் 12 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட பொருளருகியும், 4 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குழிவில்லையொன்றும் உள்ளது. தூரப்பொருளொன்றின் மாயப் படிவம் கண்ணருகியிலிருந்து 24 செ. மீ. தொலைவில் ஏற்பட்டால், வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

கண்ணருகி வில்லைக்கு,

$$v = -24 \text{ செ. மீ.}$$

$$f = -4 \text{ செ. மீ.}$$

$$u = ?$$

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{24} = -\frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{u} = -\frac{1}{4} + \frac{1}{24}$$

$$= -\frac{5}{24}$$

$$\therefore \quad u = -4.8 \text{ செ. மீ.}$$

தூரப் பொருளொன்றின் படிவத்தினைப் பொருளருகியான குவி வில்லை, குழிவில்லை இல்லையெனில் 12 செ. மீ. தொலைவில் ஏற்படுத்தும். குழிவில்லைக்கு $u = -4.8$ செ. மீ.

∴ வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு $= 12 - 4.8$

$= 7.2$ செ. மீ.

வினாக்கள்

1. பார்வைக் கோணம், கோண உருப்பெருக்கம் ஆகியவைகளை விளக்குக.

2. கூட்டு நுண்ணோக்கி, தனி நுண்ணோக்கியை விட எவ்வகையில் சிறந்தது என விளக்குக. அதன் உருப்பெருக்கத் திறனுக்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

3. ஒளிவிலகல் வகை வானியல் தொலைநோக்கி யொன்றின் அமைப்பினையும், வேலைசெய்யும் விதத்தினையும் விளக்குக.

4. கண்ணருகித் தொகுப்பொன்றில் புலவில்லையின் அவசியத்தை விளக்குக.

ஹைஜயனின் கண்ணருகித் தொகுப்பொன்றின் அமைப்பினை விளக்கி, முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையும் இடங்களைக் கணக்கிடுக

5. ராம்ஸ்டன் கண்ணருகித் தொகுப்பின் அமைப்பினை விளக்கவும். கோளப்பிறழ்ச்சியும், நிறப்பிறழ்ச்சியும் எவ்வாறு நீக்கப்பட்டுள்ளது என்று விவரிக்கவும். ஹைஜயனின் கண்ணருகியுடன் ஒப்பிடுக.

6. எபிடயஸ்கோப் ஒன்று செயல்படும் முறையை விவரிக்கவும்.

7. நிறமாலைமானியை விவரிக்கவும். இதனைக் கொண்டு பட்டகமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணையும், நிறப் பிரிகையும் தீர்மானிப்பது எவ்வாறு என்று விளக்குக.

8. ஒளியியல் கருவியொன்றில் கண்ணருகித் தொகுப்பின் வேலையை விவரிக்க. ராம்ஸ்டன் கண்ணருகி, ஹைஜயன் கண்ணருகி, இரண்டின் அமைப்பு முறைகளை விளக்கிக் கூறவும். அவற்றின் சிறப்புகளைத் தொகுத் தெழுதுக.

9. எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகியொன்றின் அமைப்பு முறையையும், வேலை செய்யும் விதத்தையும் விளக்கி எழுதுக.

10. கட்டவேறுபாடு நுண்ணோக்கியைக் கொண்டு ஆய்வு செய்யக்கூடிய பொருள்கள் எத் தன்மையானவைகளாக இருக்க வேண்டும்? ஏன்? கட்டவேறுபாடு நுண்ணோக்கி செயல்படும் முறையை விளக்கவும்.

11. எதிரொளிப்பு வகை தொலைநோக்கிகளைப் பற்றிக் குறிப்பு வரைக. அவை ஒளிவிலகல் வகை தொலைநோக்கிகளைவிட ஏன் சிறந்தவை என்று விளக்குக.

12. சிறு குறிப்பு வரைக

(அ) எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகி.

(ஆ) மாறு திசைமாற்றப் பட்டகம்.

(இ) திசையுரு நிறமாலைமானி.

(ஈ) எபிடயஸ்கோப்.

(உ) ராம்ஸ்டன் கண்ணருகி.

(ஊ) ஹைஜயன் கண்ணருகி.

13. கூட்டு நுண்ணோக்கி ஒன்றில், கண்ணருகியிலிருந்து 28 செ. மீ. தொலைவில் இறுதிப்படிவம் உண்டாகும் பொழுது பொருள் அமையும் நிலையிலேயே படிவமும் அமைகின்றது. பொருளானது, பொருளருகியிலிருந்து 4 செ. மீ. தொலைவில் அமைந்து உருப்பெருக்கம் 14 கொண்டிருந்தால், கூட்டு நுண்ணோக்கியில் உள்ள வில்லைகளின் குவிய தூரங்களைக் கணக்கிடுக.

[f_1 = 3.2 செ.மீ. f_2 = 11.2 செ.மீ.]

14. கூட்டு நுண்ணோக்கியொன்று 1 செ.மீ. குவியதூரம் கொண்ட பொருளருகி, 5 செ.மீ. குவியதூரம் கொண்ட கண்ணருகி கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒருவருக்கு இறுதிப் படிவம் தெளிவாகத் தோன்ற கண்ணிலிருந்து 25 செ. மீ. தொலைவில் 15 மடங்கு உருப்பெருக்கம் கொண்டு அமைய வேண்டுமெனில், வில்லைகளுக்கிடைப் பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடவும்.

[7.67 செ. மீ.]

15. நுண்ணோக்கியொன்றின் பொருளருகு வில்லையின் குவிய தூரம் 2 செ.மீ. ; அதன் கண்ணருகு வில்லையின் குவிய தூரம் 20·9 செ.மீ. இருவில்லைகளும் ஒன்றுக்கொன்று 9 செ.மீ. தொலைவில் அமைந்திருக்கின்றன. ஒரு பொருளின் படிவம் கண்ணருகு வில்லையிலிருந்து 20 செ. மீ. தொலைவில் தெளிவாகத் தெரியும்படி பொருள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. உருப்பெருக்கத் திறனையும், பொருளின் தொலைவையும் காண்.

[u = 2 செ. மீ.; m = 20]

16. நேர்க்குத்தான அமைவுக்கு வானியல் தொலைநோக்கி ஒன்றில் பொருளருகிக்கும் கண்ணருகிக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 85 செ. மீ. ஏற்படும் உருப்பெருக்கம் 16. வில்லைகளின் குவிய தூரங்களைக் கணக்கிடுக.

[80 செ.மீ.; 5 செ.மீ.]

17. நேர்க்குத்தான அமைவிற்கு கலீலியன் தொலைநோக்கி ஒன்றில் ஏற்படும் உருப்பெருக்கம் 20. கண்ணருகியின் குவிய தூரம் 2.7 செ.மீ. பொருளருகியிலிருந்து 5.4 மீட்டர் தூரத்தில் அமைந்துள்ள பொருளொன்றின் படிவம் கண்ணருகியில் முடிவிலாத் தொலைவில் ஏற்படும் பொழுது, இருவில்லைகளுக்குமிடைப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

[51.8 செ.மீ.]

18. நேர்க்குத்து அமைவுக்கு கலீலியோ தொலைநோக்கி ஒன்றில் உருப்பெருக்கம் 10. கண்ணருகியின் குவிய தூரம் 5 செ. மீ. இறுதிப்படிவம் தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தில் அமையும்பொழுது, வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் 44 செ. மீ. தெளிவுப் பார்வைத் தூரத்தினைக் கணக்கிடுக.

[30 செ.மீ.]

10. ஒளிப்பட இயல்

10.1. ஒளியுணர்வுப் பொருள்களின் (Photographic materials) மீது ஒளி படும்பொழுது ஏற்படும் மாற்றங்களைக் கொண்டு படிவங்களைப் பதிவு செய்தல், ஒளிப்பட இயல் (Photography) எனப்படும். சிறுதுளை அல்லது வில்லையின்மூலம் இருட்டறையினுள் ஒளியினை செலுத்திப் படிவங்களை உண்டாக்கும் முறை 1568-ம் ஆண்டு முதலே பழக்கத்தில் இருந்தது. பின்னர் 1589-ம் ஆண்டு இவ்வாறு ஏற்படும் படிவங்களை ஒரு தேய்த்த கண்ணாடி அல்லது வெண் திரையில் பிடிக்கும் முறை பழக்கத்திற்கு வந்தது. ஆனால் 1835-ம் ஆண்டில்தான் பாக்ஸ் டால்போட்(Fox Talbot)என்பவர் நிரந்தரப் படிவங்களை உண்டாக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டார். வெள்ளி உப்புக்கள் (Silver salts) சூரிய ஒளி பட்டவுடன் கருநிறமாக மாறும் என்பது பாக்ஸ் டால்போட் காலத்திற்கு முன்பே தெரிந்த ஒன்று. அவர் படிவம் உண்டாகும் திரைக்குப் பதிலாக வெள்ளி நைட்ரேட்டினால் கழுவப்பட்ட ஒரு தாளை நிரந்தரப் படிவம் உண்டாக்கப் பயன்படுத்தினார்.

மேலும் தன் அயராத முயற்சிகளினால், பல கலவைகளைப் பயன்படுத்தி, வெள்ளி உப்புக்களினால் கழுவப்பட்ட தாளின்மீது ஒளிபட்ட பகுதிகளில் உள்ள வெள்ளியைக் கரைக்காமல் மாற்றத்தை மட்டும் ஏற்படுத்தும் பொருள்களைக் கண்டார். அவற்றின் மூலம் தாளில் பொருளின் எதிர் படிவை (Negative) உண்டாக்க முடியும் என நிரூபித்தார்.

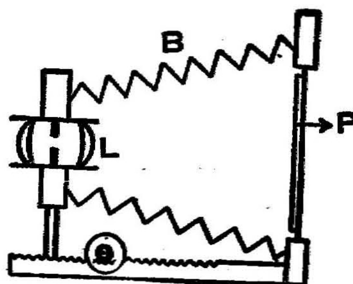
ஹெர்ஷெல் (Herchel) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டு ஹைபோ (Hypo) என வழங்கப்படும் சோடியம் தையோ சல்பேட் கரைசலில், இந்த எதிர்படிவைக் கழுவ, நிலையான எதிர்ப்படிவம் கிடைக்குமெனவும் கண்டார். மேலும் இவ்வெதிர் படிவினைக் கொண்டு பல அச்சுக்கள் (Prints) தயாரிக்க இயலுமெனவும் காட்டினார். இந் நிலையே இன்று பெரிதும் விரிந்து பெருகியுள்ள

ஒளிப்பட இயலுக்கு அடிக்கல் நாட்டப்பட்ட நிலை எனக் கொள்ள லாம்.

இனி இப் பகுதியில் படவியல் துறைக்குத் தேவையான காமிராக்கள், தோற்றுவிப்பான் (Developer), நிலைப்பாக்கி (Fixer) ஆகியவற்றைப்பற்றி ஒவ்வொன்ருக ஆராய்வோம்.

10.2. காமிரா :

ஒரு சாதாரண காமிராவை ஒரு ஊசித் துளைப்படப் பெட்டியுடன் ஒப்பிடலாம். முதல் அத்தியாயம், பிரிவு 1.7-ல் ஊசித்துளை படப்பெட்டி செயல்படும் முறை தெளிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது. ஊசித்துளை படப்பெட்டியில் காணப்படும் துளைக்குப் பதிலாக ஒரு குவி வில்லையும், தேய்த்த கண்ணுடித் திரைக்குப் பதிலாக ஒரு படவியல் தகடும் (Photographie plate) வைக்கப்பட்டால் அது சாதாரண காமிராவாக அமையும். மேலும் உண்டாகும் படிவம் உண்மைப் படிவமாக இருக்கவேண்டுமாதலால், வில்லைக்கும் படவியல் தகட்டுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம், வில்லையின் குவிய தூரத்தைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். எனவே பல நிலைகளில் உள்ள பொருள்களின் படிவங்களைப் பதிவுசெய்ய வில்லைக்கும் படவியல்



படம் 10.1. காமிரா

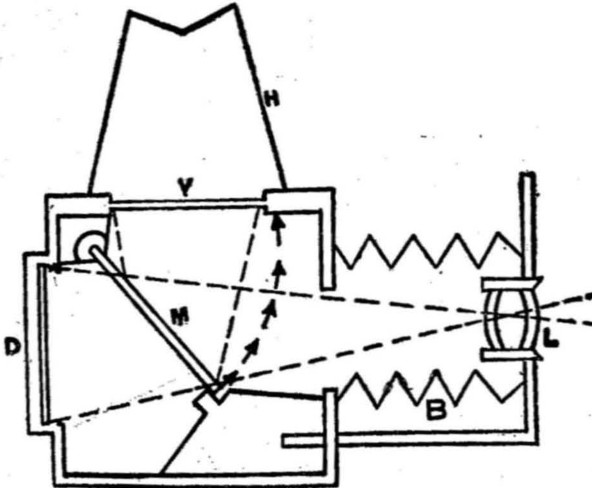
L. காமிரா வில்லை
P. படவியல் தகடு
B துருத்தி அமைப்பு

தகட்டிற்குமான தூரத்தை அவ்வப்போது சரிசெய்ய வேண்டும். இதற்கேற்ப வில்லையும், படவியல் தகடும் பொருத்தப்பட்டுள்ள சட்டங்கள் (Frames), விரியும் தன்மைகொண்ட 'ஒளிபுகா துருத்தி' (Light fight Bellows) அமைப்பு மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய அமைப்பைக்கொண்ட ஒரு காமிரா, படம் 10.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

நாளடைவில் காமிராக்கள் செய்வதில் பெரிய மாற்றங்கள் ஏற்பட்டன. கையாளுவதற்கு மிகவும் எளிமையான கை காமிராக்கள் பெருமளவில் செய்யப்பட்டன. இவையும் அமைப்பு முறைகளில் முன்னவைப்போலவே இருந்தாலும், படவியல் தகட்டிற்குப் பதிலாக ஒரு படச் சுருள் வைக்கப்பட்டது. ஒரு படம் எடுத்து முடிந்தவுடன் ஒளியுணர்வுச் சுருளை மாற்ற வேண்டிய அவசியமில்லை. பதிலாக, ஒரு படச்சுருளின் மற்றொரு பகுதியை ஒளிபடக் கூடிய நிலைக்குக் கொண்டு வருவதற்கான அமைப்பு முறை செய்யப்பட்டது. இதனால் அடுத்தடுத்து பல படங்களை எடுத்து இறுதியாக ஒரே நேரத்தில் இருட்டறையில் தோற்றுவிப்பான் (Developer) நிலைப்பாக்கி (Fixcr) இவற்றின் துணையுடன் எல்லாப் படங்களுக்கும் எதிர்ப் பதிவுகளைத் தயாரிக்கலாம்.

எதிரொளிப்புக் காமிரா (Reflex Camera):

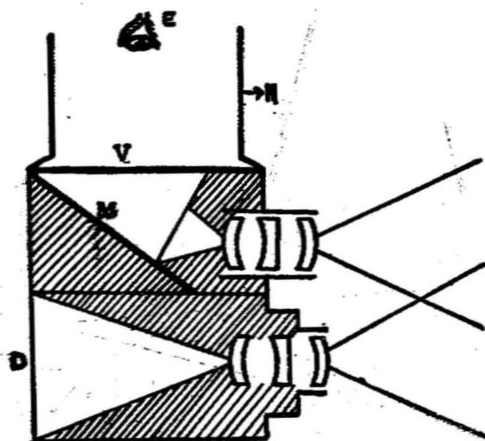
வில்லையில் இருந்து வரும் கதிர்கள் 45° கோணத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு சமதள ஆடி M-னால் எதிரொளிக்கப்பட்டு, காமிராப் பெட்டியின் மேல் பாகத்தில் உள்ள ஒரு தேய்த்த கண்



படம் 10.2. எதிரொளிப்புக் காமிரா

L—காமிரா வில்லை
B—துருத்தி அமைப்பு
V—பார்வைத் திரை
H—மூடித் திறக்கும் உறை
M—சமதள ஆடி

ணாடிக் குவித்திரை V-யில் படிவத்தை உண்டாக்கும் காமிரா, எதிரொளிப்பு காமிரா எனப்படும். இக் குவித்திரையில் தெரியும் படிவத்தினையொத்த படிவமே ஒளியுணர்வுத் தகட்டின்மீது உண்டாகுமாறு ஒளிப்படத்தகடு D வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால், ஒளிக்கதிர்களைப் படவியல் தகட்டின்மீது திறப்பு செய்வதற்குமுன்பு தெளிவான படிவத்தைக் கண்டு சரிசெய்து கொள்ளலாம். மேலும் இவ்வகைக் காமிராக்களில் ஒளித் திறப்பு (Exposure) செய்யும் நெம்புகோல் அமைப்பை இயக்கும்பொழுது 45° கோணத்திலுள்ள ஆடி M முதலில் விரைவாக மேல்நோக்கி இயங்கிக் கண்ணாடித் திரையை மறைக்கின்றது. அதே நேரத்தில் வில்லைக்கு முன்னால் இருக்கும் மூடி திறக்கப்படுவதனால் படவியல் தகடு ஒளித் திறப்புச் செய்யப்படுகின்றது. இந்த வகைக் காமிராக்களைப் பயன்படுத்தி $\frac{1}{1000}$ விநாடிக்குக் குறைவான காலத்திற்குக்கூட ஒளித் திறப்புச் செய்யலாம். மேலும், ஒளித் திறப்புச் செய்வதற்குமுன்பு தெளிவான படிவத்தைக் கண்டு அதன் பின்னர் ஒளித் திறப்புச் செய்யலாம். இவ்வகைக் காமிராவின் அமைப்புப் படம் 10.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எதிரொளிப்புக் காமிராவைக் கொண்டு வேகமாகப் படம்



படம் 10.3. கைக் காமிரா

எடுக்க முடியாத நிலை வந்தபொழுது படமெடுப்பவர் காமிராவைக் கண்ணுக்கு அருகில் வைத்துக்கொண்டு மேல் பக்கம் உள்ள திரை V-ல், ஆடி M-ல் எதிரொளிப்புக்குப் பிறகு தெரியும் படிவத்தைப் பார்த்துக்கொண்டே கீழ்ப் பக்கம் உள்ள வில்லையின் மூடியைத் திறந்து படவியல் தகடு D-யை ஒளித் திறப்பு செய்யலாம். மூடியைத்

திறந்து மூட தற்காலத்தில் சுருள் வில் (Springs)கள் மூலம் அமைப்புகள் பொருத்தப்படுகின்றன. இதனால் மூடியானது குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு மட்டும் திறந்து பின்னர் மூடிக் கொள்கின்றது. இதனால் வேகமாகப் படங்களை எடுக்க முடிகின்றது. இந்த வகை காமிராவின் முக்கியப் பகுதியை மட்டும் படம் 10.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. *V*-ல் ஏற்படும் படிவத்தின் அமைப்பே, *D*-யில் ஏற்படும்.

மேலும் நாம் விவரித்துள்ள காமிராக்களைக்கொண்டு வெகு தூரத்திலுள்ள பொருள்களின் தெளிவான படிவங்களை உண்டாக்க இயலாது. உண்டாகும் படிவமும் மிகச் சிறியதாக இருக்கும். இந்தப் படிவத்தைப் பெரியதாக உருப்பெருக்கத் தனிப்பட்ட வில்லைகளைப் பயன்படுத்திக் காமிராக்களைத் தயாரித்தனர். இதற்கு டெலிபோட்டோ காமிரா (Telephoto Camera) என்று பெயர்.

காமிராக்களின் உருவ அமைப்புகளில் மாறுபாடுகள் தோன்றிக் கொண்டே இருப்பினும் முதற்கண் காமிராக்களை அமைக்கத் தேவையான ஒளிக்கதிர்களை குவிக்கும் வில்லையும் ஒளியுணர்வு படத்தகடுமே மிக முக்கியமானவை என்பது உண்மையாகும்.

10.3. ஒளிப்பட வில்லைகள் (Photographic lenses) :

நல்லதொரு காமிராவானது அதிக அளவு திறப்பு (Aperture)-டன் கூடிய வில்லையைக்கொண்டு இருக்கவேண்டும். இதனால் அதிக அளவு கோணப் புலத்தில் அமையும் பொருள்களைப் படம் எடுக்க இயலும். ஆனால் அதிகத் திறப்புக் கொண்ட வில்லையாக இருப்பின், ஏற்படும் படிவமானது அத்தியாயம் 6-ல் கண்ட கோளப்பிறழ்ச்சி, கோமா, அஸ்ட்டிக்மேட்டிசம், வளைவு குறைபாடு, உருக் குலைவு போன்ற குறைபாடுகளுக்கு உள்ளாகின்றது. எனவே ஒளிப்பட வில்லை அமைக்கும்பொழுது இந்தக் குறைபாடுகள் அற்ற காமிராவினை தேவைகளுக்கேற்றதொன்றாக அமைக்க வேண்டும்.

வில்லைகளுடன் எப்பொழுதும் ஒளிக் குறைப்பு செய்யக்கூடிய ஒரு தடுப்பு (Stop) பயன்படுத்துவது வழக்கம். இத் தடுப்பு வில்லையின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியின் அளவைக் கட்டுப்படுத்தலுக்காகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. மையத்தில் ஒரு வட்ட துளைக் கொண்டே ஒளிப்புகா மென்திரை, வில்லைக்கு முன்னர் காணப்படும். இதுதான் தடுப்பு என்று சொல்லப்படும். துளையினுடைய

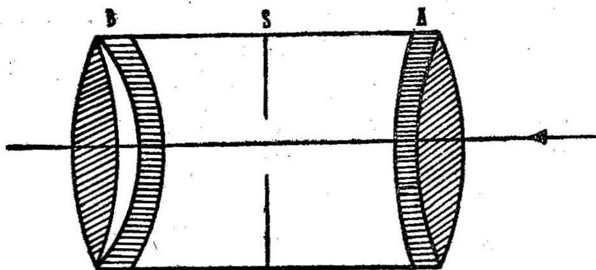
பரப்பைக் கூட்டவோ, குறைக்கவோ இயலும். இத் தடுப்பிற்கும் முன்னால் மூடியொன்றுள்ளது.

தடுப்பிலுள்ள துளையினுடைய விட்டமானது எப்பொழுதும் வில்லையின் குவிய தூரத்தின் (Focal length) பகுதியாகச் சொல்லப் படுவது வழக்கம். வில்லையின் குவிய தூரம் f என்றும் துளையின் விட்டம் d என்றும் கொண்டால், வில்லை $\frac{f}{d}$ என்னும் அளவில் செயல் படுகின்றது என்று சொல்வர். உதாரணத்திற்கு $d = \frac{1}{16} \cdot f$ எனில், வில்லை $\frac{f}{16}$ அளவில் செயல்படுகின்றது என்பர். படவியல் தகட்டின்மீது ஏற்படும் படிவத்தின் ஒளியூட்டம் துளையின் பரப்பைப் பொறுத்து நேர் விகிதத்திலும் துளையிலிருந்து படவியல் தகடு உள்ள தூரத்தின் இரு மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கும். துளையின் பரப்பு அதன் விட்டத்தின் இரு மடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்குமாகையால் ஒளியூட்டம் $\frac{d^2}{f^2}$-க்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும். விகிதம் $\frac{d}{f}$ என்பது வில்லையின் சார்புத் திறப்பு (Relative aperture) எனப்படும். ஒளித்திறப்பு (Exposure), ஒளியூட்டத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் அமையும். ஆகையால் வில்லையின் வேகம் $\frac{f^2}{d^2}$-ஐப் பொறுத்திருக்கும். வில்லையின் வேகத்தை எப்பொழுதும் $\frac{f}{d}$ என்னும் மதிப்பால் அளப்பது வழககம்.

சார்புத் திறப்புகளின் (Relative apertures) மதிப்புகள் சமமாக இருக்குமாகையால் வில்லைகள் உண்டாக்கும் படிவங்களின் ஒளியூட்டம் சமமாக இருக்கும். விகிதம், $\frac{f}{16}$-ல் செயல்படும் வில்லை கொடுக்கும் ஒளியூட்டத்தைப் போன்று $\frac{f}{8}$-ல் செயற்படும் வில்லை நான்கு மடங்கு ஒளியூட்டத்தைக் கொடுக்கும். ஒளியூட்ட மதிப்புகளுக்கொப்ப ஒளித் திறப்பு செய்யும் காலத்தினை மாற்றிக் கொள்ளலாம்.

படிவங்களில் ஏற்படும் குறைபாடுகளில், உருக்குலைவைத் தவிர மற்றவைகளைக் குறைந்த வில்லை திறப்பு (Aperture) ஏற்படுமாறு செய்வதன் மூலம் நீக்கிவிடலாம். ஆனால் இது படிவத்தின் பொலிவைப் பெரிதும் குறைத்துவிடும். எனவே, ஒளிப்பட

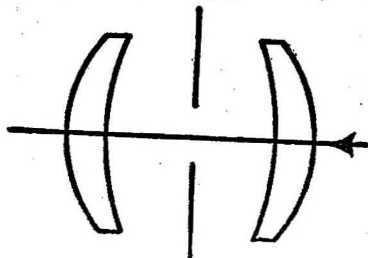
வியலுக்கென தனிப்பட வில்லைகள் அமைக்கப்பட்டன. பெட்ஸ் வால் (Petzval) என்பவர், பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை (Achromatic doublet) இரண்டைப் பயன்படுத்தி படவியல் வில்லையொன்றை படம் 10.4-ல் காட்டியுள்ளபடி அமைத்தார். படம் 10.4-ல் இரட்டை



படம் 10.4. பெட்ஸ்வால் காமிராவில்லை

களில் ஒன்றுன A-யிலுள்ள வில்லைகளுக்கிடையே இடைவெளி இல்லாமலும் மற்ற வில்லை B-யில் உள்ள குவி, குழி வில்லைகளுக் கிடையே இடைவெளிவிட்டும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இவை இரண்டிற்குமிடையே ஒரு தடுப்பு (Stop) S, வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒளிக்கதிர் வரும் திசையை நோக்கி வில்லை A முன்பக்கமாகவும், வில்லை B பின்பக்கமாகவும் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இம் மாதிரி வில்லைகள் 20° கோணப்புலத்திற்கு $\frac{f}{3 \cdot 4}$ ஒளித்திறப்பையும் அதிக வில்லைப் பரப்பையும் கொண்டுள்ளன.

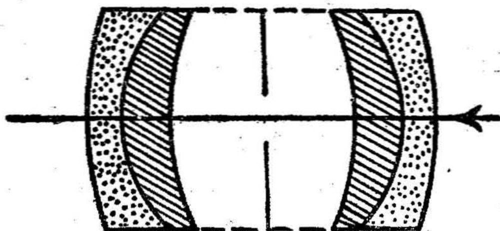
இரண்டு ஒருங்கமை வில்லைகளைக் கொண்டு பலவித 'படவில்லைகள் அமைக்கப்பட்டன. ஒரு வளைவு வில்லைக்குப் பதிலாக



படம் 10.5.

இரண்டு வளைவு வில்லைகள் (Double miniscus lenses) பயன்படுத் தப்பட்டன. படம் 10·5-ல் இவ்வகை அமைப்பொன்று காட்டப் பட்டுள்ளது. இதனால், கோமா, உருக்குலைவு, நிறப்பிறழ்ச்சி, போன்ற குறைபாடுகள் நீக்கப்படும்.

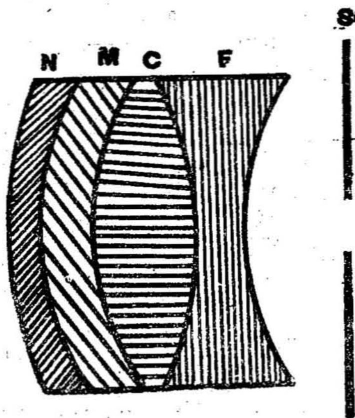
தனி வளைவு (Single miniscus) வில்லைக்குப் பதிலாக ஒரே மாதிரி அமைப்புக் கொண்ட நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரண்டு இரட்டைகளை ஒன்றையொன்று எதிர்நோக்கியிருக்குமாறு வைத்து "அதிவேக நேர்கோட்டு" (Rapid rectilinear) வில்லைகள் 10.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று அமைக்கப்பட்டன. வில்லைகளுக்கிடையே ஒரு தடுப்பும் அமைக்கப்பட்டது.



படம் 10.6. அதிவேக நேர்க்கோட்டு வில்லை

ஒருங்கமைப்பு உள்ள காரணத்தால் கோளப் பிறழ்ச்சி, உருக்குலைவு, குத்துநிறப் பிறழ்ச்சி (Transverse Chromatic aberration) ஆகியவை குறைக்கப்படுகின்றன.

அடர்வு குறைந்த பிளின்ட் (Flint) கண்ணாடியால் ஆன ஒரு குழிவில்லை F, அடர்வுமிக்க கிரவுன் கண்ணாடியினாலான குவிவில்லை C, ஒரு கிரவுன் கண்ணாடி பிறை வளைவுக் குவி வில்லை M ஒரு பிளின்ட் கண்ணாடி பிறை வளைவுக் குழிவில்லை, (Concave miniscus lens) N, ஆகிய நான்கும் பொருத்தப்பட்டுள்ள, "அன் அஸ்டிக்மேட்டிக்" (Anastigmatic) எனப்படும் படவில்லையொன்று படம் 10.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இவ்வகைக் கூட்டமைப்பு,



படம் 10.7. அன்அஸ்டிக்மேட்டிக் வில்லை

படிவத்தில் ஏற்படும் பல குறைகளைத் தவிர்க்கின்றது. படவியல் தகடுகளில் எளிதில் விளைவுகளை உண்டாக்கும் ஊதா, நீலம் ஆகிய நிறங்களுக்கு இவ் வில்லை நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கப்பட்டதாக உள்ளது.

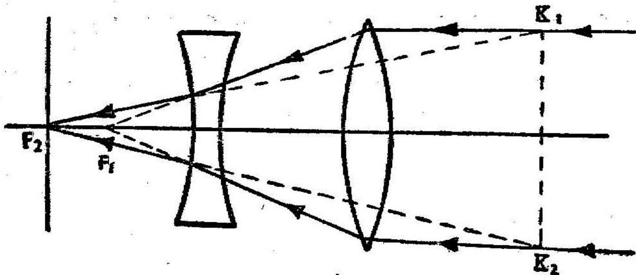
10.4. குவி ஆழம்

படங்கள் எடுக்கப்படும்பொழுது படமெடுக்கப்பட வேண்டிய எல்லாப் பொருள்களும் வில்லையிலிருந்து சமதூரத்தில் இருப்பதில்லை. குறிப்பிட்ட தூரத்தில் அமையும் பொருள்கள் படவியல் தகட்டில் தெளிவாகக் குவிக்கப்படும். அதைவிடக் குறைவான அல்லது கூடுதலான தொலைவில் அமையும் பொருள்களிலிருந்து வரும் கதிர்கள் தெளிவாகக் குவிக்கப்படுவதில்லை. பதிலாக சிறுசிறு வட்டங்களில் குவிக்கப்படும். இப்படி உண்டாகும் வட்டங்கள் சிறியனவையாக இருப்பின் கண்ணால் அவற்றைப் பிரித்தறிய இயலாது. படிவம் தெளிவானதாக இருக்கும். எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நெடுக்கத்தில் (Range) அமையும் பொருள்களுக்கான தெளிவான படிவம் உண்டாகும். இந்த நெடுக்கத்திற்கு குவி ஆழம் (Depth of focus) என்று பெயர். மேலும் தெளிவான படிவத்தை உண்டாக்கும் பொருளின் இருநிலைகளுக்கிடையே இருக்கக்கூடிய அதிகப்படியான தொலைவு புல ஆழம் (Depth of field) எனப்படும்.

10.5. தொலைப்பட வில்லை (Telephoto lens)

ஒரு காமிராவினால் உண்டாக்கப்படும் படிவத்தின் உருப்பெருக்கம் அதனுடைய குவியதூரம் f-ஐப் பொறுத்து அதிகரிக்கின்றது. வில்லையில் பொருள் தாங்கும் கோணம் θ எனில் படிவத்தின் நீளம் $f.\theta$ என்னும் மதிப்புக்குச் சமமாகும். எனவே, படிவத்தின் நீளத்தை அதிகரிக்க f-ஐ அதிகரிக்கலாம். ஆனால், f-ஐ அதிகரிக்க, காமிராவைப் பெரியதாக அமைக்க வேண்டும். தொலை தூரத்தில் உள்ள பொருளொன்றின் உருப்பெருக்கமான படிவத்தைப் படமாக்கப் பெரிய உருவ அமைப்புக் கொண்ட காமிராவை எளிமையாகப் பயன்படுத்த இயலாது. இக் குறைபாட்டை தொலைப்படவில்லை Telephoto lens ஒன்றைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் தவிர்க்கலாம். தொலைப்படவில்லையானது இரண்டு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லைகளைக் கொண்டது. ஒன்று குறைந்த குவியத் தூர குவிவில்லை, மற்றது குழிவில்லை. காமிராவின் வில்லை இருக்க வேண்டிய இடத்தில் குழிவில்லையும், சற்றுமுன் தள்ளி குவி வில்லையும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் இந்த இரண்டு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை குறைக்கவோ, கூட்டவோ இயலும் வண்ணம் அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

படம் 10.8 ல் தூரப் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளி இணைக் கதிர்கள், குழிவில்லை இல்லையெனில் குவிவில்லையில் ஒளி விலகலுக்குப் பின்னர் குவியமான F_1-ல் குவிக்கப்படும். ஆனல் குழிவில்லை அதன்மீது விழும் கதிர்களை விரிந்து செல்லுமாறு செய்வதனல், F_2-வில் குவிகின்றன.



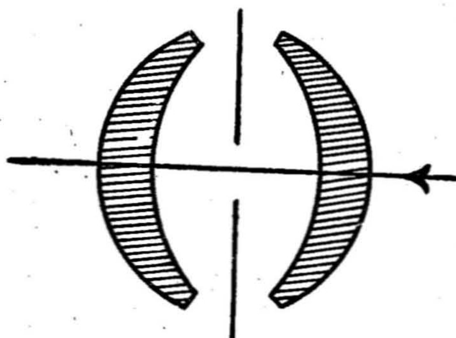
படம் 10.8. தொலைப்பட வில்லை

F_2-வில் குவியும் கதிர்களைப் பின்பக்கமாக நீட்ட அவை பொருளிலிருந்து வரும் இணைக் கதிர்களை K_1, K_2 என்னும் தளத்தில் சந்திக்கின்றன. எனவே தளம் K_1, K_2 என்பது வில்லைத் தொகுப்பின் முதன்மைத் தளம் ((Principal plane) ஆகின்றது. கதிர்கள் குவியும் புள்ளி F_2-விலிருந்து தளம் K_1 K_2-க்கு உள்ள தொலைவு, தொகுப்பின் குவிய தூரமாகின்றது. எனவே தொலைப்பட வில்லையைப் பயன்படுத்துவதன்மூலம், காமிரா வில்லையின் குவிய தூரத்தை அதிகரிக்கலாம். இதனல் உருப்பெருக்கம் கொண்ட படிவத்தை உண்டாக்கலாம். வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை மாற்ற இயலுமாகையால், உருப்பெருக்கத்தை தேவைக்கேற்ப மாற்றிக்கொள்ளலாம். பெரும்பாலும் இரண்டு அல்லது மூன்று மடங்கு உருப்பெருக்கும் வில்லைகளே பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

10.6. அதிகோண வில்லைகள் :

மிக அதிகமான கோணப் புலத்தில் காமிராவினின்று குறைந்த தொலைவில் அமையும் பொருள்களின் படிவங்களைக் குறைபாடற்ற முறையில் தோற்றுவிக்கும் வில்லைகள் அதிகோண வில்லைகள் (Wide angle lenses) எனப்படும். பொருள்களிலிருந்து வரும் சாய்வுக் கூம்பு ஒளிக் கற்றைகளின் (Oblique light pencils) படு கோணம் குறைக்கப்படுமாறு வில்லைகள் அமைக்கப்பட வேண்டும். இதனல் வில்லையின் பகுதிகள் தடுப்பை நோக்கி அதிக அளவில்

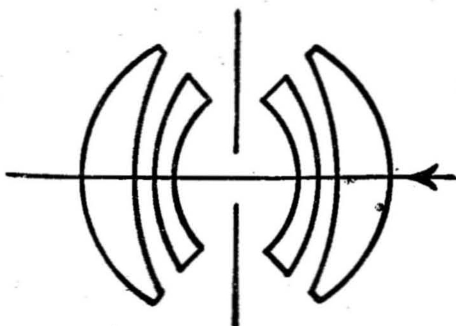
வளைவைக் கொண்டிருக்குமாறு வைக்கப்பட வேண்டும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்டுள்ள ஹைபர்கான் (Hypergon) என்னும் வில்லை படம் 10.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த வில்லை 10 செ. மீ. குவிய



படம் 10.9. ஹைபர்கான் அதிகோண வில்லை

தூரத்திற்கு $\frac{f}{22}$ அல்லது குறைவான அளவில் 140° கோணப் புலத்தை உள்ளடக்குகின்றது. உருக்குலைவு பெரும்பாலும் இல்லாமலேயே தட்டையான புலத்தில் படிவம் உண்டாகின்றது.

சிலார் (Celor) வகை வில்லைகள், அதிகோணப் புலத்திற்கென அமைக்கப்பட்டன. அவை மிகுந்த வளைவைக் கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டதால் அவை உள்ளடக்கும் கோணமும் அதிகமாகிறது. இவ்வகை வில்லைகளுக்குள் ஒன்றுன டோபாகான் (Topogon) எனப்படும் வில்லையின் அமைப்புப் படம் 10.10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. 15 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட டோபாகான் வில்லை



படம் 10.10. சிலார் வகை அதிகோண வில்லை

$\frac{f}{8}$ முதல் $\frac{f}{11}$ வரையான வேகத்துடன் 90° கோணத்தினுள் அடங்கும் எப்பொருளையும் படம் எடுக்கும் ஆற்றலுள்ளது.

10.7. ஒளியுணர்வு பசை—
படத்தட்டுகள், படச்சுருள்கள், படத்தாள்கள் தயாரித்தல் :

ஒளியின் செயலினால் சில வெள்ளிக் கூட்டுப்பொருள்கள் அவைகளிலுள்ள வெள்ளியை விடுத்துப் பிரிக்கப்படுகின்றன. இப் பண்பினைப் பயன்படுத்தி சில வெள்ளி உப்புக்களைக்கொண்ட ஒளி யுணர்வுப் பசையினைத்(Photographic emulsion)தயாரித்து,அந்தப் பசையினை மென்படலமாக ஒரு கண்ணாடித் தகட்டின்மீதோ, அல்லது செல்லுலோஸ் அசிடேட் (Cellulose acetate) சுருளின் மீதோ தடவி, உலரவிட்டால், படத்தட்டு அல்லது படச்சுருள் கிடைக்கும். ஜிலேட்டின் (Gelatin) என்னும் பொருள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டவுடன் ஜிலேட்டினத்தையும் ஒளியுணர்வு பொருள் களுடன் கலந்து பசை தயாரித்தனர். ஜிலேட்டினம் முதலில் கண்ணாடியின்மீது அல்லது செல்லுலோஸ் சுருளின்மீது படிவதால், அதன்மீது ஒளியுணர்வு பசையின் துகள்கள் பொதிந்திருக்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. இதற்காக வெள்ளி ஹேலைடு (Silver halide) —ஜிலேட்டின் கலவை இருட்டறையில் தயாரிக்கப்படுகின்றது.

எளிய தயாரிப்பு முறை ஒன்று கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் தற்காலத்தில் தேவைக்கேற்ற படவியல் தகடுகளும், சுருள்களும், பலவிதமான ஒளியுணர்வுப் பசைகளைக் கொண்டு தயாரிக்கப்படுகின்றன.

சுமார் 200 க. செ. மீ. நீரில் 25 கிராம் ஜிலேட்டின் கலந்துள்ள ஒரு வெதுவெதுப்பான கரைசலை எடுத்துக்கொண்டு அதில் 25 கிராம் பொட்டாசியம் புரோமைடைச் (Pottasium bromide) சேர்க்கவும். புரோமைடு முழுமையாகக் கரைந்தவுடன் கரைசலை இருட்டறைக்கு எடுத்துச் செல்லவும். சுமார் 200 க. செ. மீ. தண்ணீரில் 30 கிராம் வெள்ளி நைட்ரேட் (Silver Nitrate) கொண்ட கரைசலை, ஜிலேட்டின் புரோமைடு கரைசலுடன் மெதுவாக நன்கு கலக்கிக்கொண்டே சேர்க்கவும். இச் சமயத்தில் ஒளியுணர்வு மிக்க வெள்ளி புரோமைடு, கரைசலினின்று ஒரு நொதிப்பான (Creamy) வீழ்படிவாக வெளியேற்றப்படுகின்றது. ஆனால் ஜிலேட்டின் இருப்பதால், கலத்தின் அடிப்பகுதியில் வீழ்ப்படிவாக இல்லாமல் திரவம் முழுவதும் சிறு சிறு துகள்களாகத் தொங்க விடப்பட்ட நிலையில் உள்ளது. ஏற்படும் மாற்றத்தைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் குறிக்கலாம்.

வெள்ளி நைட்ரேட் + பொட்டாசியம் புரோமைடு———→

வெள்ளி புரோமைடு (கரையாத) + பொட்டாசியம் நைட்ரேட். இந்நிலையில் கலத்திலுள்ள கலவையை இரண்டாகப் பிரித்துக் கொள்ளவும். வெதுவெதுப்பாக உள்ளதொரு பகுதியைத் தாளின் பரப்பின்மீது ஊற்றிக் குளிர வைத்தால், அது தாளின்மீது கூழ்ப் போல் படிகின்றது. வெப்பக் காற்றில் இதை உலரவைக்க படத் தாள் கிடைக்கும். இவற்றை ஒளிபுகாப் பெட்டிகளில் அடைத்து வைக்கவேண்டும்.

மறு பாதி திரவமுள்ள கலத்தைக் கொதிநீர் உள்ள பாத்திரத் தில் வைத்து மீண்டும் வெப்படுத்த வேண்டும். சுமார் 10 நிமிடங்கள் வரை வெப்பப்படுத்திப்பின்னர் கண்ணுடித்தகடுகளின்மீது ஊற்றிக் குளிர்விக்க வேண்டும். குளிர்விக்கப்பட்ட தகடுகள் சில நிமிடங் களுக்கு நீரில் வைக்கப்பட்டால் அதன்மீது படிந்துள்ள பொட்டா சியம் நைட்ரேட்டு கரைக்கப்படும். பின்னர் எடுத்து உலரவைக்க காமிராவில் வைத்து ஒளித் திறப்பு செய்யக்கூடிய படவியல் தகடு கிடைக்கும். இத் தகடுகளை ஒளிப்புகாப் பெட்டியினுள் வைத்துப் பின்னர்தான் இருட்டறையை விட்டு வெளிக்கொண்டு வருதல் வேண்டும்.

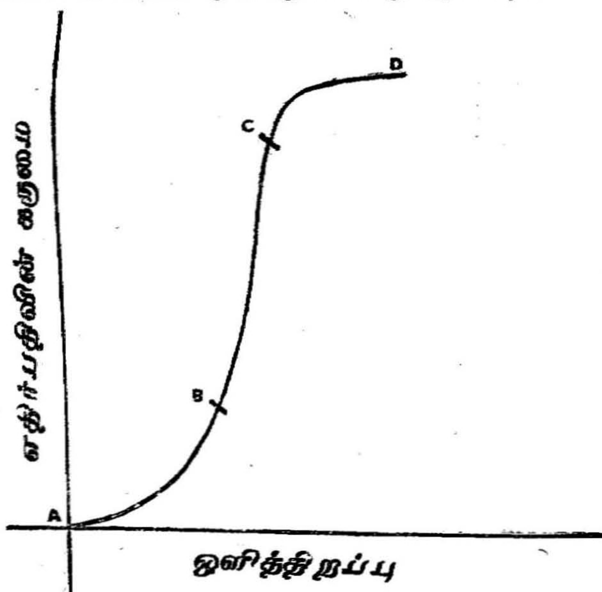
பின்வரும் பகுதியில் படிக்கவிருக்கும் ஒளிப்பட அச்சு (Print), தயாரிக்கத் தேவைப்படும் அச்சுத் தாள்களும், படத்தட்டு, படச் சுருள் இவற்றைப்போன்றே ஒளியுணர்வு பசைப் படலம் கொண் டவைகள் ஆகும். இத் தாள்களும் படச்சுருள், படத் தட்டைப் போலவே தயாரிக்கப்படுகின்றன.

10.8. ஒளித் திறப்பு :

ஒரு நல்ல வில்லை பொருந்திய காமிராவைக்கொண்டு படவியல் தகட்டில் அல்லது படச்சுருளில் ஒளித்திறப்பு (Exposure) செய்ய வேண்டும். ஒளியுணர்வுத் தகட்டின்மீது நல்லதொரு படிவத்தை உண்டாக்கும்பொருட்டு பொருளிலிருந்து வரும் ஒளியை விடுப்பு செய்யும் காலம், ஒளித்திறப்பு எனப்படும். சரியாக ஒளித்திறப்பு செய்யப்பட்ட படத் தகட்டில் உண்டாகும் எதிர்ப் படிவம் (Negative) அச்சிடும்பொழுது, பொருளினை ஒத்த அச்சினை (Print)க் கொடுக் கின்றது.

எனவே ஒளித்திறப்பானது பொருளிலிருந்து வரும் ஒளியின் ஒளிச்செறிவு, வில்லையின் ஒளிச் சேகரிக்கும் தன்மை, படவியல் தகட்டின் வேகம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. இதற்காக ஒவ்வொரு வகைப் படத்தகடு அல்லது படச் சுருளுக்கும் ஒளித்

திறப்புக் செய்ய வேண்டிய காலங்கள் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. இதற்காக எதிர்ப்படிவில் (Negative) ஏற்படும் கருமைக்கும், ஒளித் திறப்பு காலத்திற்கும் ஒரு வரை படம் வரையப்பட்டால், வரை படம் 10.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோன்று அமையும்.



படம் 10.11.

வரை படத்தில் AB என்னும் பகுதியில் அமையும் ஒளித் திறப்பு "குறை திறப்பு" (Under exposure) என்றும், CD பகுதியில் இருந்தால் "மிகு திறப்பு" (Over exposure) என்றும் சொல்லப் படும். BC பகுதியில் தேவைக்கேற்ற ஒளித்திறப்பைக் கொண் டால், "சரியான திறப்பு" என்று சொல்லப்படும். வரைப் படத்தில் BC பகுதி ஒரு நேர்க்கோடாக அமைந்துள்ளது கருதத்தக்கது.

10.9. தோற்றுவித்தல்—எதிர்ப் பதிவு தயாரித்தல் :

(அ) ஒளியுணர்வு பசை (Emulsion) தடவப்பட்ட படத்தட்டு அல்லது படச் சுருளின்மீது பொருளிலிருந்து செல்லும் ஒளிக் கதிர்கள் படுகின்றன. அவ்வண்ணம் விழுந்த கதிர்கள் பொருளின் படிவத்தினைப் பதிக்கின்றன. ஆனால் அந்தப் படிவம் அப்படியே கண்ணுக்குத் தெரிவதில்லை. அதாவது படிவம் உள்ளுறை படிவ மாக (Latent image) உள்ளது. அப் படிவத்தினைப் படத்தட்டு அல்லது படச் சுருளின்மீது புலனாகும்படிச் செய்தலுக்குத் தோற்று

வித்தல் (Developing) என்று பெயர். இதற்காகத் தோற்றுவிப் பான்கள் (Developers) எனப்படும் திரவக் கரைசல்கள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. திரவக் கரைசலில் ஒரு குறிப்பிட்ட காலம் படத் தகட்டினையோ அல்லது சுருளையோ அமிழ்த்தி வைத்தால் படிவம் தோற்றுவிக்கப்படும்.

(ஆ) தோற்றுவிப்பானின் கூட்டமைப்பு:

தனியொரு பொருள் தோற்றுவிப்பானுகச் செயல்படுவதில்லை. எனவே திறன்மிக்க தோற்றுவிப்பான் பல பொருள் கொண்ட தொரு கரைசலாக இருக்கும். பொதுவாகத் தோற்றுவிப்பான் களில், மீட்டால் (Metal), ஃபினிடான் (Phenidone) ஹைட்ரோ குனன் (Hydroguinone), அமிடால் (Amidol), கிளைசின் (Glycin), பாரா அமிடால் (Para amidol), பாரா பினைலின் டைஅமின் (Paraphaylene diamine), பைரோ காட்சிட்டின் (Pyrocatchetin) போன்ற தோற்றுவிக்கும் செயலிகள் (Agents) காணப்படும். ஒளிப் படப் பசையிலுள்ள வெள்ளி ஹாலைடுகளை, வெள்ளி உலோகத் துகள்களாக மாற்றுவதே மேலே குறிப்பிட்ட தோற்றுவிக்கும் செயலிகளின் செயலாகும். மேலும் சோடியம் சல்பைட் (Sodium Sulphite), பொட்டாசியம் மெட்டா பைசல்பைட் (Potassium meta bisulphite) போன்றவை பாதுகாக்கும் பொருள்களாகத் தோற்று விப்பானில் செயல்படுகின்றன. இப்பொருள்களின் முககியப் பணி, தோற்றுவிக்கும் செயலிகள் கெடுருமல் பாதுகாப்பதே. தோற்று விக்கும் பொருள்களின் செயலை வேகமாக்க, சோடியம் கார்பனேட் என்னும் காரமும் சேர்க்கப்படுகின்றது.

கரிம (Organic), கரியிலிப் பொருள்கள் (Inorganic substance) செயலடக்கிப் பொருள்களாகத் (Restrainers) தோற்றுவிப்பானில் செயல்படுகின்றன. எனவே பொட்டாசியம் புரோமைடு என்ற கரியிலிப் பொருளும், பென்சோடிரையசோல் (Benzotriazole) என்ற கரிமப் பொருளும் செயலடக்கியாகத் தோற்றுவிப்பானில் சேர்க்கப்படுகின்றன.

கரைப்பானுகப் பயன்படுவது நீர். வடித்த நீர் சிறப்புடையது. ஆனுல் குழாய்க் குடிநீர் போதுமானது.

இயல்பு (Normal) ஒளி-நிழல் வேறுபாட்டினைத் தோற்று விக்கும் தோற்றுவிப்பானில் மீட்டலும், ஹைட்டிரோகுனேனும் சேர்ந்தோ அல்லது பினிடாளும் ஹைட்ரோகுனேனும் சேர்ந்தோ தோற்றுவிக்கும் செயலிகளாக செயல்படுகின்றன. காரமாக கார்பனேட்டும், செயலடக்கியாக (Restrainer) புரோமைடும் செயல் புரிகின்றன.

இயல்புக்குரிய ஒளி-நிழல் தோற்றுவிப்பானுக்குரிய வாய்ப் பாட்டினை கோடாக் (Kodak) நிறுவத்தினரால் ஒருங்கமைக்கப் பட்ட D-163 என்ற தோற்றுவிப்பபானில் உள்ள பொருள்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

1. மீட்டால் (Metal) அல்லது எலான் (Elon) — 2.2 கிராம்
2. சோடியம் சல்பைட் (Sodium Sulphite) — 75 கிராம்
3. ஹைடிரோ குவினன் — 17 கிராம்
4. சோடியம் கார்பனேட் (Anhydrous) — 65 கிராம்
5. பொட்டாசியம் புரோமைடு — 2.8 கிராம்
6. நீர் — 1000 cc.

மேற்கண்ட கலவையை 1 : 3 என்ற நீர்மத்தில் எடுத்துக் கொண்டு தோற்றுவித்தால், நல்ல ஒளி-நிழல் வேறுபாட்டினைத் தரும். தொடுதல் முறையில் (Contact process) ஒளிப்படத் தாள் களைத் தோற்றுவிக்க 1 : 1 என்ற நீர்மத்தில் $68°F$ வெப்ப நிலையில் 45–60 விநாடிகள் தோற்றுவிக்க வேண்டும்.

(இ) தேவையான மற்ற கரைசல்கள் :

தோற்றுவிப்பானின் கரைசல் மட்டுமேயல்லாமல், கழுவல் கரைசல் (Rinse bath), அமில நிறுத்தல் கரைசல் (Acid stop bath), நிலையாக்கும் கரைசல் (Fixing bath) ஆகியவை தேவைப் படுகின்றன.

தோற்றுவிப்பானிலிருந்து வெளியே எடுக்கப்படும் படச் சுருளின் பரப்பில் ஒட்டிக்கொண்டிருக்கும் தோற்றுவிப்பான் கரைசலை நீக்கிவிட வேண்டும். இதற்குக் கழுவல் கரைசலில் படச் சுருளைக் கழுவவேண்டும். இதற்குப் பெரும்பாலும் நீர் பயன்படுகின்றது.

கழுவல் கரைசலில் இருந்து படத்தை எடுத்து, தோற்றுவிப்பா னின் செயலை நடுநிலையுடையதாகச் செய்யும் அமில நிறுத்தற் கரைசலில் வைக்கவேண்டும். இதற்கு $2\frac{1}{2}\%$ பொட்டாசியம் மெட்டா பைசல் 'பேட் கரைசல் அல்லது 1% அசிட்டிக் அமிலக் கரைசல் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

இறுதியாக நிலைப்பாக்கும் கரைசலில் படச் சுருளினை வைக்க வேண்டும். நிலைப்பாக்கும் கரைசல் படச் சுருளின் ஒளிபடாப் பகுதி களில் உள்ள வெள்ளி ஹாலைடுகளை ஒளிப்படப் பசையினின்றும்

நீக்குகின்றது. இதற்கு ஹைபோ (Hypo) கரைசல் பயன்படு கின்றது.

இவை மட்டுமன்றி அலுமினிய சல்பேட் அல்லது குரோமிய சல்பேட் கொண்ட கடினமாக்கும் (Hardening) கரைசல் பயன் படுத்தப்படுகின்றது. இதனால் பசை கடினமாக்கப்படும். எனவே, பசை பருத்து உப்புவது (Swelling) தடுக்கப்படும். மென்மை குறைவதால் விரைவில் உலரும்.

(ஈ) தோற்றுவித்தல் செயல் முறைகள்

தோற்றுவித்தல் இருட்டறையில்தான் செய்ய வேண்டும். எனவே தேவையான கரைசல்களை வரிசைப்படி அகண்ட தட்டு களில் (Trays) எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும்.

இருட்டறையை ஒளிபுகாவண்ணம் செய்த பின்னர், ஒளித் திறப்பு செய்யப்பட்ட படத்தட்டு அல்லது படச்சுருளை வெளியே எடுக்க வேண்டும். முதலில் நீரில் கழுவ வேண்டும். பின்னர் தோற்றுவிப்பான் கரைசலில் வைக்க வேண்டும். கரைசலின் வெப்பநிலை 65-67°-க்குள் இருக்க வேண்டும். கரைசலின் தன்மையைப் பொறுத்து நிர்ணயிக்கப்பட்ட கால அளவு வரை தோற்றுவிப்பானில் வைத்திருக்க வேண்டும். பின்னர் நீரில் கழுவி அதை நிலைப்பாக்கும் கரைசலான ஹைபோவில் வைத்து நிலைக்கச் செய்ய வேண்டும். மீண்டும் நீரில் கழுவ எதிர்பதிவு (Negative) கிடைக்கும். நன்கு உலரும்படி செய்தல் முக்கியம்.

கருமை-வெண்மை படமாக (Black-white film) இருந்தால், பொருளின் கருமையான பாகங்கள் வெண்மையாகவும், வெண்மை யான பாகங்கள் கருமையாகவும் எதிர்படிவில் கிடைக்கும்.

10.10. ஒளிப்பட அச்சிடுதல் (Photographic printing)

(அ) ஒளி அச்சுத்தாள்கள்

அச்சிடுதலுக்கு அச்சுத் தாள்கள் தேவை. வெள்ளி உப்புக்களை (Silver Salts) ஒளி உணர் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள தாள்களே பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவ்வுப்புக்கள் ஜிலேட்டின் கரைசலில் தொங்கும் நிலையில் (Suspended position) விடப்பட்டு, வேதியியல் தூய்மையுடைய தாளின்மீது சீராகப் பூசப் படுகின்றன. பேரியம் சல்பேட் உடைய ஜிலேட்டின் (Gelatin) உறுதியூட்டும் படலமாகப் பூசப்படுகின்றது. இப் படலமானது தோற்றுவிக்கும் படிவத்திற்குச் சிறப்பான வெண்மை அடிப் பொருளாக அமைவதோடுமட்டுமன்றி ஒளியுணர் படலத்தினைக்

காக்கும் உறையாகவும் செயல்படுகின்றது. இப்படலத்தின் மீதே ஒளியுணர்கரைசல் பூசப்படுகின்றது. இப்படலம் நன்கு உலர்ந்தவுடன் இதன் மீது மேலுமொரு ஜிலேட்டின் பூச்சு தரப்படுகின்றது. தாளினைப் பயன்படுத்தும் பொழுது நிகழக்கூடிய கேட்டினை இப்பூச்சு தவிர்க்க உதவுகின்றது. பயன்படுத்தப்படும் வெள்ளி உப்புகள் பொதுவாக ஹாலைடுகள் (Halides) ஆகும். இவை வெள்ளி குளோரைடு (Silver Chloride), வெள்ளி புரோமைடு (Silver Bromide), வெள்ளி குளோரோ புரோமைடு ஆகியவைகள் ஆகும். ஒவ்வொரு வகை உப்பும் கொண்ட தாள்கள் வெவ்வேறு தன்மைகளைக் கொண்டவை. குளோரைடு தாள்கள், புற-ஊதா ஒளியினையும், நீல-ஊதா ஒளியினை மட்டுமே உணரும் தன்மையுடையன. இவ்வகையான தாள்கள் ஒளிமிக்க மஞ்சள் காப்பு விளக்குகளிலும் ஒளி குறைந்த டங்ஸ்டன் இழை விளக்குகளிலும் (ஒளி நேராகப் படாமல்) கையாளப்படலாம். தோற்றுவிக்கப்படும் படிவங்கள் கண்ணுக்கினிய கருநீலமானதாக (Blue-black) அமையும்.

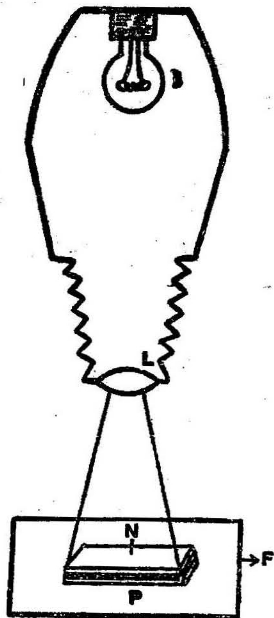
புரோமைடு தாள்கள் செயல் வேகம் (Working speed) மிக்கவை. குளோரைடு தாள்களைக் காட்டிலும் 50 முதல் 100 மடங்கு ஒளியுணர்வு மிக்கவை. இவ்வகைத் தாள்கள் பச்சை, மஞ்சள் வண்ணங்களை உணரும் தன்மையன. எனவே, செறிவு மிக்க பச்சை வண்ணமுடைய கண்ணடிகளைப் பயன்படுத்தல் வேண்டும். படிவங்கள் நடுத்தன்மையானதாக இருக்கும். எனவே இவ்வகைத் தாள்கள் தொடுமுறையில் படங்கள் தயாரிப்பதற்கும் பெருக்க முறையில் படங்கள் தயாரிப்பதற்கும் சிறந்தவை ஆகும்.

(ஆ) தொடுமுறை ஒளிப்பட அச்சு தயாரிப்பு

ஒளிப்பட அச்சிடுதலை இரு வழிகளில் செய்யலாம். எதிர்ப்பதிவின் அளவினைப் பொறுத்த நேர்ப்பதிவினை உண்டு பண்ணத் தொடுமுறையில் (Contact process) செய்யலாம். மற்றமுறை ஒளிப்படப் பெருக்கியின் (Enlarger) துணைக்கொண்டு எதிர்ப்பதிவிலுள்ள படிவத்தினைப் பெருக்கச் செய்வித்து அப்பெருக்கலுற்ற படிவத்தினை ஒளிப்படத் தாளின்மீது விழும்படிச் செய்து பெருக்கற் படத்தை உண்டுபண்ணுதலாகும்.

தொடுவியல் முறையில் அச்சுகள் தயாரிக்க 40 W திறன் கொண்டதொரு காப்பு விளக்கு B, பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இவ்விளக்கினின்று வரும் ஒளி குவிவில்லை L-மூலம் கீழ்நோக்கி அனுப்பப்படுகின்றது.

படத்தாள் வைக்கப்பட வேண்டிய இடத்தில் உள்ள வெண்ணிற அட்டையொன்றின் மீது இவ்வொளி படும்படிச் செய்யப்பட்டு, தேவையான அளவில் பரவித் தெரியுமாறு செய்யப்படுகின்றது. விளக்கினின்று வரும் ஒளியை நிறுத்திவிட்டு, ஒளி பரவி இருந்த இடத்தில் படத்தாள் P-யும் அதன்மீது எதிர்ப்பதிவு, N-ம் அவற்றின் பசை பக்கங்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறு ஒளிச்சட்டம் F-ல் பொருத்தி வைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு அமைத்த பிறகு ஒளியைத் திறந்துவிட்டால் எதிர்ப்படிவின் மூலம் செல்லும் ஒளி, அச்சுப்படத் தாளின் மீது படுகின்றது. எதிர்ப்பதிவில் கருமையான பாகங்களின் வழியே குறைந்த அளவு ஒளியும், வெண்மையான பாகங்களின் வழியே அதிக அளவு ஒளியும் செல்லும். இதனால் எதிர்ப்பதிவில் உள்ள ஒளி நிழல் வேறுபாடுகளுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட விதத்தில் படத்தாளின்மீது ஏற்படும். குறிப்பிட்டதொரு காலத்திற்கு ஒளித்திறப்பு செய்யப்படுதல் வேண்டும். பின்னர் படத்தாளினைக்கொண்டு, எதிர்ப்பதிவைத் தோற்றுவித்தலில் கையாண்ட முறைகளையே செய்விக்க நேர்ப்பதிவு அல்லது அச்சு கிடைக்கும்.



படம் 10.12.
தொடுவியல் முறையில் அச்சுக்கள் தயாரித்தல்

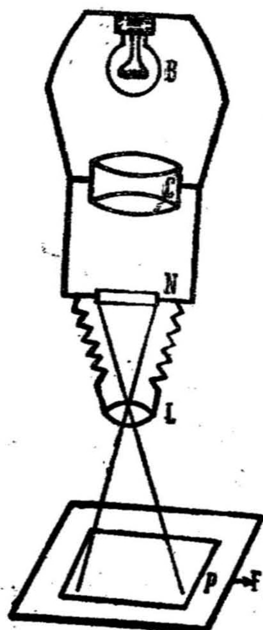
அடிப்படையில் தோற்றுவித்தல் முறைகள் ஒன்றே ஆனாலும், சில மாற்றங்கள் வேண்டியுள்ளது. தோற்றுவிப்பானில் படத்தாளை முதலில் பசை பக்கம் அமிழுமாறும், பின்னர் மேல்நோக்கியும் வைக்கவேண்டும். தோற்றுவிப்பானில் அமிழ்த்துவதற்கு முன்பே நீரில் அமிழ்த்தி எடுத்தல் நல்லது. தோற்றுவிப்பான் உள்ள தட்டினை ஆட்டிக்கொண்டேயிருந்தால் விரைவில் தோற்றுவிக்கப்படும். வெப்பநிலை எப்பொழுதும் 65-70°F இருக்கவேண்டும். 75°Fக்கு அதிக வெப்பநிலை அல்லது 55°F-க்குக் குறைந்த வெப்பநிலை இருத்தல் கூடாது. கரைசல்களில் சரியான கால அளவு வைத்திருந்து, பின்னர் நேர்ப்பதிவினை நன்கு கழுவவேண்டும். நேர்ப்பதிவு நன்கு கழுவப்படாவிடில் அதன்மீது விடப்படும் ஹைப்போ நாளடைவில் சிதைந்து, கந்தகத்தினை உருவாக்கும். இக் கந்தகம்

ஒளிப்பட அச்சில் உள்ள வெள்ளியினையும், ஜிலேட்டினத்தையும் தாக்கிப் படத்தைக் கேடுறச் செய்யும்.

(இ) பெருக்கற்படம் அச்சிடுதல் :

பெரும்பான்மையான எதிர்ப்பதிவுகள் சிறிய அளவினைக் கொண்டிருப்பதால், அவற்றின் உருவைப் பெருக்கி அச்சிடுதல் அவசியமாகின்றது. மேலும் ஒளிப்பட அச்சுக்களைப் பல அளவு களில் செய்ய ஒளிப்படப் பெருக்கி பெரிதும் பயனுள்ளதாக உள்ளது.

ஒளிப்படப் பெருக்கி (Enlarger) படம் 10.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு காப்பு விளக்கு B, குவிப்பான் C, எதிர்ப்பதிவு வைக்கும் தாங்கி N, வீழ்த்தும் வில்லை L ஆகிய பாகங்களைக் கொண்டது.



படம் 10.13. உருப்பெருக்கி அச்சுக்கள் தயாரித்தல்

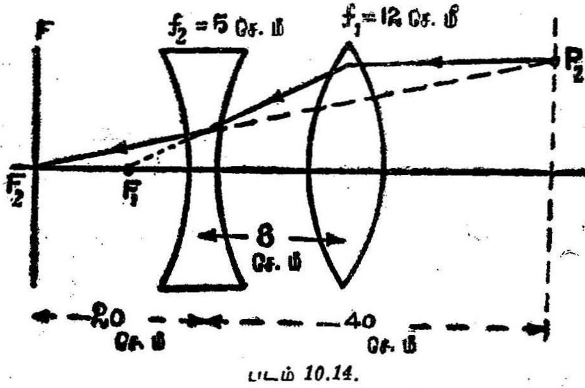
காப்பு விளக்கு B-யிலிருந்துவரும் ஒளி, குவிப்பானின் வழியாக எதிர்ப் பதிவு N-ஐ சீராக ஒளியூட்டும் வகையில் அனுப்பப்படுகின்றது. வீழ்த்தும் வில்லை L-க்கு எதிர்ப்பதிவு பொருளாக அமைய உருப்பெருக்கப்பட்ட படிவம் தொலைவில் ஒளிச் சட்டம் F-ல் உண்டாக்கப்படுகின்றது. தேவையான அளவு படிவத்தை ஏற்படுத்திக் கொண்டு படிவம் அமையும் இடத்தில் படத்தாள் P வைக்கப் படுகின்றது. குறிப்பிட்ட காலத்திற்கு எதிர்ப் பதிவின்மூலம் வரும் ஒளி படத் தாளின் மீது பட்டால், படத்தாளில் உள்ளுறை படிவம் (Latent image) ஏற்படுகின்றது. படத்தாளினை முன் கையாண்ட முறைகளின்படி தோற்றுவிக்க, எதிர்ப்பதிவுக்கு நேர்-எதிரான ஒளி-நிழல் பண்புகள் கொண்ட உருப்பெருக்கப்பட்ட அச்சு கிடைக்கும்.

மாதிரிக் கணக்குகள் :

(1) தொலைப்பட வில்லையொன்றில் 12 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட வில்லையொன்றும், 5 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குழி

வில்லை ஒன்றும், 8 செ. மீ. இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. தூரப் பொருளொன்றின் படமெடுக்கப் படவியல் தகடு வைக்கப்படவேண்டிய நிலையைக் கணக்கிடுக.

குவிவில்லை முன்பாகவும், குழிவில்லை அடுத்தும் படம் 10.14-ல் வைக்கப்பட்டுள்ளது போன்று அமைக்கப்பட வேண்டும்.



படம் 10.14.

தொகுப்பின் குவிய தூரம் f எனில்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

கணக்கின்படி $$\frac{1}{f} = \frac{1}{12} - \frac{1}{5} + \frac{8}{12 \times 5}$$

$$= \frac{1}{60}$$

$f = 60$ செ. மீ. ஆகும்.

F_2-வில் இறுதிப் படிவம் ஏற்படுகின்றது .எனில், F_2-க்கும் இரண்டாவது முதன்மைத் தளம் P_2-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 60 செ. மீ. ஆகும்.

இரண்டாவது வில்லை (குழிவில்லை) யிலிருந்து இரண்டாவது தளம் அமையும் தொலைவு

$$= \frac{d \cdot f}{f_1} \text{ ஆகும்.}$$

$$= \frac{8 \times 60}{12} = 40 \text{ செ. மீ. ஆகும்.}$$

எனவே படவியல் தகட்டைக் குழிவில்லையிலிருந்து,

60 – 40 = 20 செ. மீ. தொலைவில் (அல்லது) குவிவில்லையி லிருந்து 28 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கவேண்டும்.

(2) காமிரா வில்லையொன்றின் குவிய தூரம் 8 செ. மீ. அது வேலை செய்யும் அளவு $\frac{f}{2.8}$ ஆகும். வில்லையின் திறப்பின் விட்டத் தைக் கணக்கிடுக? ஒரு குறிப்பிட்ட படப்பிடிப்புக்கு வில்லை செயல் படும் வேகம் $\frac{f}{2.8}$ ஆக இருக்கும்பொழுது $\frac{1}{200}$ விஞடி சரியான ஒளித்திறப்பு காலமெனில், வில்லை செயல்படும் வேகம் $\frac{f}{6.3}$ ஆக இருக்கும்பொழுது ஒளித்திறப்பு செய்யவேண்டிய காலத்தைக் கணக்கிடுக?

[குறிப்பு:—பகுதி 10.3-ன்படி சார்புத் திறப்பு $= \frac{d}{f}$ ஆகும். வில்லையினுல் ஏற்படும் ஒளியூட்டம் $\frac{d^2}{f^2}$-க்கு நேர் விகிதத் தில் அமையும். எனவே, வில்லையின் வேகம் $\frac{f^2}{d^2}$ ஆகும். ஆனல் $\frac{f}{d}$ என்று குறிப்பது வழக்கம். $\frac{f}{d} = n$ எனில், $\frac{f}{n}$ என்பதை வில்லையின் செயல் வேகம் என்பர்.]

கணக்கின்படி, $f = 8$ செ. மீ.

வில்லையின் திறப்பின் விட்டம் $d = \frac{f}{2.8} = \frac{8}{2.8}$

$= 2.86$ செ. மீ.

வில்லையின் ஒளி சேகரிக்கும் திறன் $= \left(\frac{f}{n}\right)^2$ ஆகும்.

ஒளிதிறப்புக் காலம், ஒளி சேகரிக்கும் திறனுக்கு எதிர் விகிதத் தில் அமையும். எனவே வில்லை $\frac{f}{2\cdot8}$-ல் செயல்படும்பொழுது,

$$\left(\frac{f}{2.8}\right)^2 \propto \frac{1}{\frac{1}{200}} \qquad (1)$$

வில்லை $\frac{f}{6.3}$ வேகத்தில் செயல்படும்பொழுது, t_2 ஒளித் திறப்பு செய்யவேண்டிய காலமெனில்,

$$\left(\frac{f}{6.3}\right)^2 \propto \frac{1}{t_2} \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\left(\frac{f^2}{(2.8)^2}\right) \times \frac{(6.3)^2}{f^2} = 200 \times t_2$$

$$\therefore \quad t_2 = \frac{(6.3)^2}{200 \times (2.8)^2}$$

$$= 0{\cdot}0253 \text{ வினாடிகள்.}$$

வினாக்கள்

1. படவியல் துறையில் பயன்படும் வில்லைகளைப்பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

2. தொலைப்பட வில்லைகள், அதிகோண வில்லைகள் பயன் படுத்த வேண்டிய காரணத்தை விளக்கி, அவற்றின் அமைப்புகளைப்பற்றி விவரிக்க.

3. படத்தகடுகள், படச்சுருள்கள், படத்தாள்கள் தயாரிக்கும் முறைபற்றி குறிப்பு வரைக.

4. எதிர்ப்பதிவினைத் (Negative) தோற்றுவித்தலில் பயன் படும் கரைசல்கள், செயல் முறைகள் ஆகியவற்றை விவரித்து எழுதுக.

5. அச்சிடுவதற்குப் பயன்படும் படத்தாள்களைப் (Printing papers) பற்றிச் சிறு குறிப்பு வரைக.

6. தொடுமுறையில் அச்சுக்கள் தயாரித்தல் பற்றியும், உருப் பெருக்க முறையில் அச்சுக்கள் தயாரித்தல் பற்றியும் விவரிக்க.

7. தொலைப்பட வில்லையொன்றில் 11.5 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குவிவில்லையொன்றும் 3 செ. மீ. குவிய தூரம் கொண்ட குழிவில்லையொன்றும் 10 செ. மீ. இடைவெளி

விட்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. தூரப் பொருளொன்றின் படமெடுக்கப் படவியல் தகடு வைக்கப்பட வேண்டிய இடத்தைக் காண்க.

[குழிவில்லையிலிருந்து = 3 செ. மீ.
குவிவில்லையிலிருந்து = 13 செ. மீ.]

8. பொருளொன்று, $\frac{1}{25}$ விநாடியில் $\frac{f}{11}$ செயல் வேகம் கொண்ட வில்லையின் மூலம் தெளிவாகப் படமெடுக்கப் பட்டது. செயல் வேகம் $\frac{f}{16}$ இருக்கும்பொழுது ஒளித் திறப்புக் காலத்தைக் கணக்கிடுக. [0.08 விநாடி].

11. ஒளியூட்டமும், ஒளி அளவியலும்

11.1 தன் ஒளிகொண்ட பொருள், அது வெளியிடும் ஒளியால் கண்ணுக்குப் புலனாகின்றது. தன் ஒளி படைத்த ஒளி மூலங்களில் இருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், தன் ஒளியிலாப் பொருள்களின்மீது பட்டு சிதறுவதனால் அப் பொருள்கள் புலனாகின்றன. சூரியனிடமிருந்து கிடைக்கும் இயற்கை ஒளி அல்லது ஒளி மூலங்கள் (Light sources) வெளிவிடும் ஒளி, இவையே பொருள்களைப் பார்ப்பதற்கு, பயன்படுபவையாகும். இவ்வொளிகளினால் தேவைக்கேற்ப பொருள்கள் ஒளியூட்டப்பட்டிருத்தல் வேண்டும். கண்ணை வருத்தாமல் பொருள்களைப் பார்க்க இயலுமாறு ஒளியூட்டங்களின் அளவுகள் இருக்க வேண்டும். உதாரணமாக சாலைகளைத் தகுந்த அளவில் ஒளியூட்டுவதின் மூலம் விபத்துக்களைக் குறைக்கலாம். சீரான முறையில் ஒளியூட்டப்பட்ட தொழிற்சாலைகளில் உற்பத்தித்திறன் கூடுவதற்கு வாய்ப்பு உண்டு. எனவே தகுந்த ஒளியூட்டத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு ஒளி மூலங்கள் உண்டாக்கும் ஒளியின் அளவையும், அவ்வொளி படும் பரப்புகளின் மீது ஏற்படும் ஒளியூட்டங்களையும் அளக்க வேண்டும். இவ்வாறான ஒளியின் அளவை அளக்கும் முறைகள் அடங்கிய பகுதி ஒளி அளவியல் (Photometry) எனப்படும். ஒளி அளவியலில் பயன்படும் படித்தர அலகுகள், ஒளிமானிகள் ஆகியவைகளைக் கருதுவதற்கு முன்னர், செயற்கை ஒளி கொடுக்கும் ஒளி மூலங்களைப்பற்றிப் பார்ப்போம்.

11.2. மின் விளக்குகள் பயன்படுத்துவதற்கு முன்னர் இருந்த ஒளி மூலங்கள்

மனிதன் நெடுங்காலமாகவே, பகல் நேரத்திற்குப் பின்னும் தன்னுடைய செயல்களை மேற்கொள்ள விரும்பினான். எனவே செயற்கை ஒளிமூலங்களைப் பயன்படுத்தினான். எண்ணெய் விளக்குகள் பல காலத்திற்கு முன்பே பயன்படுத்தப்பட்டன. 19-ம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் எளிதில் ஆவியாகக்கூடிய பெட்ரோலியம் எண்ணெய்கள் உபயோகப்படுத்தப்பட்டன. அவைகள் மிகுந்த

ஒளியைக் கொடுத்தன. நிலக்கரி வாயு விளக்குகள் 17-ஆம் நூற்ருண்டின் ஆரம்பத்தில் பயன்படுத்தப்பட்டன. 1805-ல் ரிச்சர்ட் முர்டோக் (Richard Murdoch) அவருடைய தொழிற்சாலையை ஒளியூட்ட வாயுவைப் பயன்படுத்தினர். 1816-ல் நிலக்கரி வாயு சாதாரணமான ஒன்ருக விளங்கியது. தொடக்கத்தில் எரிகுழல் (Burner)-களில் வாயு எரிய விடப்பட்டது. இக் குழல்களில் ஏற்படும் வாயுவின் தீச்சுடரே ஒளியைக் கொடுத்தது. 1893-ல் வெல்ஸ்பேக் (Welshback) என்பவர் எரிச்சட்டையை (Mantle) கண்டுபிடித்தார். பட்டுத் துணியொன்றை ஒரு சத விகிதம் சீரியம் நைட்ரேட் கொண்ட தோரியம் நைட்ரேட் கரைசலில் தோய்த்து எடுத்துப் பின் பட்டுத் துணியை மட்டும் எரித்துவிட வேண்டும். எரிந்த பின்னர் எஞ்சியிருக்கும் தோரியம், சீரியம் ஆக்ஸைடுகளினல் ஆன கூடுபோன்ற அமைப்பு எரிச்சட்டை (Mantle) எனப்படும். இவ்வாறு எரிச்சட்டைகள் தயாரிக்கப்பட்டன. புன்சன் எரியூட்டிலிருந்து வரும் சுடரற்ற, வெப்பம் மிக்க, வாயுவினல் எரிச்சட்டை சூடேற்றப்படும்போது ஒளியானது எரிச்சட்டையிலிருந்து வெளியிடப்படும். தற்கால எரிச் சட்டைகள், இவ்வகை எரிச் சட்டைகளில் இருந்து சிறிதளவு வேறுபாடு கொண்டவையாகும்.

11.3. மின் ஒளிமூலங்கள்:

மின்னழுத்த வேறுபாடு கொண்டு அமைக்கப்பட்ட இரண்டு கரித்துண்டுகளுக்கிடையே உண்டாகும் ஒளி வில்லானது (Light arc), ஒளி மூலமாக 19-ம் நூற்ருண்டின் பிற்பகுதியில் பயன்படுத்தப்பட்டது. ஆனல் கரித்துண்டுகள் எரிந்து குறைந்து விடுவதனல், அவற்றை அவ்வப்பொழுது மாற்ற வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகின்றது. எனினும் ஒளிவில்கள், பேரொளி படைத்த ஒளி மூலங்களாக இருப்பதால் தற்காலத்தில்கூட பட வீழ்த்திகளிலும், தேடு விளக்குகளிலும் (Search lights) பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

1878-ம் ஆண்டில் வில்சன் ஸ்வாம் (Wilson Swam) என்பவர் இங்கிலாந்தில் மின்இழை விளக்கைச் செய்தார். இதில், காற்று நீக்கப்பட்ட ஒரு கண்ணடி குமிழுக்குள் கரி இழை பொருத்தப்பட்டிருந்தது. மின்சாரத்தை இந்த இழையின் வழியாக அனுப்பி மிகுதியாக வெப்பப்படுத்தப்பட்டது. அதே காலத்தில் 1879-ல் அமெரிக்காவில் தாமஸ் ஆல்வா எடிசன் அதே போன்ற மின் விளக்கை அமைத்தார். தொடக்கத்தில் இழைகள் மூங்கில், அட்டை போன்றவைகளால் செய்யப்பட்டுப் பின்னர் கரியிழையாக மாற்றப்பட்டன. 1882-ல் கரிஇழை விளக்குகளை உபயோகிப்பவர்களுக்கு மின்சாரம் வழங்குவதற்காக மின்வழங்கு நிலையம் ஒன்றை எடிசன் நியூயார்க் நகரத்தில் அமைத்தார். கரிஇழை (கார்பன்)

விளக்குகளில், கரிஇழை ஆவியாகிக் கண்ணாடி உறையின்மீது படிந்தது. இதனால் இழையில் வெப்ப நிலையை உயர்த்த முடிவதில்லை. எனவே அது செந்நிற ஒளிவிளக்காக மட்டுமே அமைந்தது. ஆஸ்மியம், டான்ட்டலம் (Tantalum) போன்ற உலோக இழைகள் பின்னர் பயன்படுத்தப்பட்டன. ஆனால் அதிக வெப்ப நிலையில் ஆஸ்மியம் உடைந்து போகின்றது. டான்டலம் மென் தன்மையை அடைகின்றது. எனவே தற்காலத்தில் எல்லா உலோகங்களையும்விட அதிக உருகு நிலையைக்கொண்ட டங்ஸ்டன் (Tungsten), மின்இழைகள் செய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. ஆரம்பத்தில் டங்ஸ்டனைக்கொண்டு மெல்லிய கம்பிகளாக இருக்க முடியாமல் இருந்தது. தற்காலத்தில் இக் குறை நீங்கி, மிக மெல்லிய கம்பிகள் செய்ய முடிகின்றது.

மின் விளக்குகளின் இழைகளை மிக அதிக வெப்ப நிலையில் வைக்க இயலும். இதனால் அவற்றைத் திறன்மிக்க விளக்குகளாகக் கொள்ளலாம். மேலும், சிறிய அளவு மின் ஆற்றலைச் செலவிட்டு அதிகமான ஒளியாற்றலைப் பெறலாம். ஆனால் வெற்றிடத்தில் டங்ஸ்டன் மின் இழையை வைத்து மிகுந்த வெப்ப நிலைக்குக் கொண்டு செல்லும்பொழுது, இழை ஆவியாகிக் குமிழின் (Bulb) உள் பாகத்தைக் கருமை ஆக்குகின்றது. எனவே வெற்றிடத்திற்குப் பதிலாக ஒரு கனமான மந்தவாயுவை குமிழினுள் நிரப்பி வைத்தால் மந்தவாயுவின் மூலக் கூறுகள் இழையை மோதுவதால் ஆக்ஸிகரணம் வெகுவாகக் குறைக்கப்படும். ஆரம்பக் காலத்தில் ஆர்கான் (Argon) வாயு பயன்படுத்தப்பட்டது. ஆர்கானின் வெப்பச் சலனத்தின் (Convection) மூலம் வெப்பம் குறைவதினால் இழை மிகவும் குளிர்ந்து விடுகின்றது. எனவே விளக்கின் திறன் குறைக்கப்படுகின்றது. இதனால் 1913-ல் லேங்முயிர் (Langmuir) என்பவர் வாயு நிரப்பப்பட்ட விளக்கில் ஒரு சுருள் இழை (Coiled-filament)யைப் பயன்படுத்தி, வெப்பச் சலனத்தினால் ஏற்படும் வெப்ப இழப்பைப் பெரிதும் குறைத்தார். தற்காலத்தில் காற்றழுத்தத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஆர்கான், நைட்ரஜன் கலவை பயன்படுத்தப் படுகின்றது. 1934-ல் மேலும் திறன் மிக்க, சுருள் இழையையே மீண்டும் சுருளாக்கி அமைக்கப்பட்டுள்ள, சுருண்ட-சுருள் இழை (Coiled-coil) கொண்ட விளக்குகள் அமைக்கப்பட்டன. இதனால் வெப்ப இழப்புப் பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது.

தற்காலத்தில் உள்ள திறன் வாய்ந்த ஒளிமூலங்கள், மின்னிறக்க விளக்குகள் (Discharge lamps) எனப்படுபவையாகும். ஒரு நீண்ட குழாயினுள் குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ள வாயுவின் வழியாக மின்னிறக்கம் (Electric discharge) ஏற்படுகின்றது.

சோடியம் வாயுவின் வழியாக மின்னிறக்கம் ஏற்படுவதினால் அதிகத் திறன் வாய்ந்த ஒளிமூலம் கிடைக்கின்றது. திறன் மிக்கதெனினும், ஒற்றைநிற மஞ்சள் ஒளியை மட்டுமே கொடுப்பதினால் இதை எல்லாத் தேவைகளுக்கும் பயன்படுத்துவது இயலாது. ஆனால் ஆய்வுக் கூடங்களில் இந்த ஒற்றைநிற ஒளி பல வழிகளில் பயன் படுகின்றது. பாதரச ஆவியின் வழியாக மின்னிறக்கம் ஏற்படும் பொழுது தனித்தன்மை வாய்ந்த நீல-பச்சை (Bluish Green) ஒளி வெளிப்படுகின்றது. இவ்வொளியில் சிகப்பு நிறப் பகுதி மிகவும் குறைவு. எனவே, இவ்வொளியால் பார்க்கப்படும் பொருள்கள் ஒருவகை நீல நிறத்துடன் தோன்றுகின்றன. இதனால் பொது வான ஒளியூட்டங்களுக்கு இதுவும் சிறந்ததல்ல.

பாதரச ஆவி விளக்குகள் கண்ணுறு பகுதியில் குறைந்த அளவு ஒளியூட்டம் கொண்டிருந்தாலும் புற ஊதாக் கதிர்களை மிகுதியாக வெளியிடுகின்றன. புற ஊதாக் கதிர்கள் பட்டவுடன் ஒளிர்ந்து, கண்ணுறு பகுதியில் அமையும் ஒளியை வெளியிடும் சில வேதியல் பொருள்கள் (Chemicals) உள்ளன. உதாரணமாக சிங்க் சல்பைடு (Zine Sulphide அல்லது சிங்க்-காட்மியம் சல்பைடு (Zine cadmium Sulphide), சில சிலிகேட் பாஸ்பர்கள் (Silicate phosphors) ஆகியவற்றைக் கூறலாம். இவ்வகைப் பொருள்களைக் கொண்ட பூச்சு ஒன்று, குறைந்த அழுத்தத்தில் பாதரச ஆவி அடைக்கப்பட்ட, நீண்ட குழாயின் உட்பக்கத்தில் பூசப்பட்ட குழல் விளக்குகள் 1939-ஆம் ஆண்டு அமைக்கப்பட்டன. இவை ஒளிரும் பாதரச ஆவி மின்னிறக்க விளக்குகள் (Fluorescent Mercury discharge lamps) எனப்பட்டன. இவ்வகை விளக்குகளினால் பகல் நேர இயற்கை ஒளியினைப் போன்று, கண்ணுறு பகுதியில் எல்லா நிறப் பகுதிகளையும் சற்றேக்குறைய பெற இயலும். மேலும் இவ்வகை விளக்குகள் டங்ஸ்டன் இழை விளக்குகளைப் போன்று இரண்டரை மடங்கு திறன் கொண்டவைகளாக உள்ளன.

11.4. படித்தர அலகுகள்

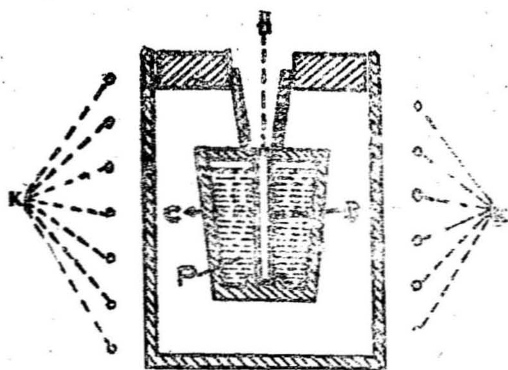
ஒளியின் அளவை அளத்தலே ஒளி அளவியல் (Photometry) எனப்படும். அளவுகளைத் தீர்மானிக்க சில அலகுகளைப் பயன் படுத்துவதுடன், அவற்றை வரையறுத்து நிலைநிறுத்த சில படித்தரங்களை (Standards) நிறுவ வேண்டும். ஒளி அளவியலில் வரும் வெவ்வேறு அளவுகள் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு கொண்டவையாகையால் ஏதேனும் ஒரு படித்தரத்தை நிறுவினால் அதுவே போதுமானது. எனவே, படித்தரம் ஏதேனும் ஒருவகை ஒளி மூலமாகவே எப்பொழுதும் அமையும். முதன் முதலில் எடுத்துக் கொண்ட படித்தரம் குறிப்பிட்ட பரிமாணங்களைக்

கொண்ட மெழுகுவத்தியாகும். ஆனால் எத்தனை முன் எச்சரிக்கை எடுத்துக் கொண்டாலும் அது நிலையான ஒளியைத் தருவதில்லை. வாயுக்களைக் கொண்டு விளக்குகளை எரிக்கத் துவங்கியவுடன் படித்தரங்களை ஏற்படுத்த வேண்டிய அவசியம் மிகவும் உணரப் பட்டது. எனவே, பலவகையான வாயு விளக்குகள், அல்லது திரவ விளக்குகள் படித்தரங்களாகக் கொள்ளப்பட்டன. மெழுகு வத்தியின் உபயோகம் குறைந்தது. இவற்றுள் வெர்னன் ஹார்கோட்டின் (Vernon Hartcourt's) பென்டேன் (Pentane) ஆவி விளக்கு ஒன்றாகும். இஃது பென்ட்டேன் ($C_5 H_2$) வாயுவை எரிய விடு வதனால் கிடைக்கும் சுடராகும். இது மெழுகுவத்தியைப் போன்று பத்து மடங்கு ஒளி மிக்கது. 1921-க்கும் 1948-க்கும் இடைப்பட்ட காலத்தில் கரியிழை மின் விளக்குகள் படித்தரங்களாகப் பயன் படுத்தப்பட்டன. இவைகள் சுடர் விளக்குகளைவிட நிலையானவை என்பதுடன் பயன்படுத்தலுக்கும் எளிமையானவை. இருப்பினும் குறிப்பிட்ட பரிமாணங்களுக்குக் குறிப்பிட்டதொரு அளவு ஒளியைக் கொடுக்குமாறு கரிஇழை விளக்குகளைச் செய்ய இயலாது. ஆனால் பென்ட்டேன் ஆவி விளக்கில் இது முடியும். படித்தரங்களை அவ்வப்பொழுது நிலையானதொரு மூலத்துடன் ஒப்பிட்டுக் கொள்ளவேண்டும். அப்பொழுதுதான் எல்லா இடங்களிலும் ஒருபடித்தான அலகுகளைப் பயன்படுத்த இயலும்.

1948-ல் ஒளியை அளப்பதற்கான மூலப்படித்தரமானது (Primary standard) குறிப்பிட்டதொரு வெப்பநிலையில் வைக்கப் பட்டுள்ள கதிர்வீசும் கருமைப் பொருள் (Black body) ஒன்றின் நிலையைக்கொண்டு வரையறுக்கப்பட்டது. கருமைப் பொருளானது தன்மீது விழும் எல்லாக் கதிர்களையும் தன்வயப்படுத்தும் தன்மை யுடையது. இதனால் அது எந்த ஒளியையும் எதிரொளிப்பதில்லை. எனவே, கருமையாகத் தோன்றுகின்றது. ஆனால் இது தன்ஒளி கொள்ளுமளவுக்கு வெப்பப் படுத்தப்பட்டால் ஒளியைக் கொடுக்கின்றது.

கதிர்களை தன்வயப்படுத்தும் பொருள்கள், நல்ல ஒளி விடும் பொருள்களாகவும் உள்ளன. கருநிறப் பொருளொன்று ஒளிரும் (Incandesent) அளவுக்கு வெப்பப்படுத்தப்பட்டால், அதே பருமனைக் கொண்ட, அதே வெப்ப நிலையில் உள்ள எந்தப் பொருளையும்விட அதிக ஆற்றல் கொண்ட கதிர்களை எல்லா அலைநீளங்களிலும் வெளியிடவல்லது. இதனால் இது முழுக் கதிர்வீச்சி (Total radiator) எனப்படும். மேலும் கொடுக்கப் பட்டதொரு பரப்பினைக்கொண்ட கருநிறப் பொருள் குறிப்பிட்ட தொரு வெப்ப நிலையில் சீரான அளவு ஒளியை நிலையாக வெளியிடு

கின்றது. எனவே மூலப்படித்தரமாகக் கொள்ளும் வகையில் கரும் பொருள் ஒன்று படம் 11.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று அமைக்கப்பட்டது.



படம் 11.1. படித்தர ஒளிமூலம்

B – தோரியம் ஆக்ஸைடு உருளை
C - தோரியம் ஆக்ஸைடு குப்பி
H - துளை
K,K - கம்பிச் சுருள்கள்
P - பிளாட்டினம் (உருகு நிலையில்)

கிட்டத்தட்ட 1773°C வெப்ப நிலையில் வைக்கப்பட்டுள்ள தோரியம் ஆக்ஸைடினாலான உருளை B-யின் மேல் பக்கமாக அமைந்துள்ள துளை-H கரும்பொருளாகச் செயல்படுகின்றது. உருளை B, 45 மி.மீ. நீளமும், 2.5 மி.மீ. உள்விட்டமும் கொண்டது.

இவ்வுருளை தோரியம் ஆக்ஸைடினாலான குப்பி C-ல் உருகும் நிலையில் உள்ள பிளாட்டினத்தினுள் அமிழ்த்தப்பட்டுள்ளது. உருகு நிலை மிகவும் அதிகமாகையால் பிளாட்டினம் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இதனால் வெப்ப நிலை 1773°C வரை ஏற்படுகின்றது. மேலும் பிளாட்டினம் எளிதில் ஆக்ஸிகரணம் அடையாது உருளையும், குப்பியும் செய்யப்பட்டுள்ள தோரியம் ஆக்ஸைடு பிளாட்டினத்தை விட அதிக உருகு நிலையும், அதில் கரையாத தன்மையும் கொண்டது. அதிக அதிர்வெண் கொண்ட மின்சாரம் (High frequency Current) கம்பிச் சுருள் K-ன் வழியாகச் செல்லும்பொழுது உண்டாகும் எதிர் மின்சாரம் (Eddy current) ஏற்படுத்தும் வெப்பத்தால் பிளாட்டினம் உருகுகின்றது. குளிர்விக்கப்படும்பொழுது பிளாட்டினம் அதனுடைய உறைநிலையில் Freezing point) சிறிது நேரம் இருக்கின்றது. இந்நிலையில் திடப்பொருளாவதற்குமுன்

வெளிப்படும் உள்ளுறை வெப்பத்தை வெளியிடுகின்றது. அப்பொழுது துளை H பொலிவு மிக்கதாக உள்ளது பொலிவு மிக்கதாக அமைந்துள்ள துளை படித்தரமாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றது.

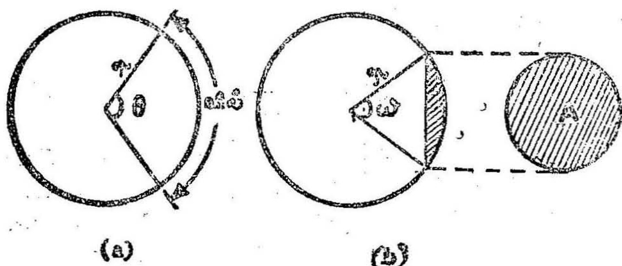
தொடக்கத்தில் மூலங்களின் திறன்கள் மெழுகுவத்தித் திறன் அளவில்தான் கணக்கிடப்பட்டன. மேலே விவரிக்கப்பட்ட முறையில் கரும்பொருள் அமைக்கப்பட்ட பின்னர், ஒரு சதுர செ. மீ. அளவுகொண்ட துளை வெளிவிடும் ஒளியின் அளவில் 60 ல் ஒரு பாகம் "அனைத்துலக படித்தரக் காண்டில்" (International standard candle) எனக் கொள்ளப்பட்டது.

ஆனால் இப் படித்தரத்தினை அன்றாடத் தேவைகளுக்குப் பயன்படுத்த இயலாது. எனவே இதனை மூலப் படித்தரமாகக்கொண்டு நன்கு ஒப்பிடப்பட்ட, எளிதில் அமைக்கக்கூடிய டங்ஸ்டன் இழை மின்விளக்குகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இம் மின் விளக்குகள் குறிப்பிட்ட அளவு ஒளிப் பாயத்தை வெளிவிடும் வகையில், குறிக்கப்பட்ட அளவு மின் அழுத்தம் (Voltage), மின் ஓட்டம் (Current) கொண்டு ஒளியைக் கொடுக்கின்றன.

*11.5. திண்மைக் கோணம் Solid angle) :

ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து வெளியிடப்படும் ஒளியானது ஒரே நேர்கோட்டில் பரவுவதில்லை. ஒரு புள்ளியிலிருந்து துவங்கி கன அளவு வெளியில் (Volume of Space) அமையும் பல நேர்க் கோடுகளில் பரவுகின்றது. எனவே திண்மைக் கோணத்தைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ளுதல் அவசியமாகின்றது.

திண்மைக் கோணத்தைக் கருதுவதற்குமுன்பு நேரியல் கோணத்தை (Linear angle) அளத்தலைப்பற்றிக் கருதுவோம்.



படம் 11.3.

படம் 11.2(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி, கோணம் θ-வின் வட்ட அளவை,

$$\theta \text{ (ரேடியனில்)} = \frac{\text{கோணம் } \theta\text{-வைத் தாங்கும் வட்ட வில்லின் நீளம்}}{\text{வட்டத்தின் ஆரம் } (K)}$$

என வரையறுக்கலாம்.

இஃது ரேடியன்கள் (Radians) என்னும் அலகால் குறிக்கப் படும். [வட்டத்தின் ஆரத்தின் நீளத்திற்குச் சமமான வட்ட வில் வட்ட மையத்தில் தாங்கும் கோணம் ஒரு ரேடியன் ஆகும்.]

கோணத்தின் மதிப்பு, வட்டத்தின் ஆர மதிப்பையும், நீளங்களை அளப்பதற்குப் பயன்படுத்தும் அலகுகளையும் பொறுத் தது அல்ல.

எனவே நாம் முன்பு கருதிய விகிதத்தின்படி ஒரு புள்ளியில் அமையும் நேரியல் கோணம் (ரேடியன்களில்)

$$= \frac{\text{வட்டவில்லின் மொத்த நீளம் (வட்டத்தின் பரிதியின் நீளம்)}}{\text{வட்டத்தின் ஆரம்}}$$

$$= \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ ரேடியன்கள் ஆகும்.}$$

அதாவது 360° ஆகும்.

ஆனால் திண்மைக் கோணமானது, ஒரு பரப்பானது ஒரு புள்ளியில் தாங்கும் கோணத்தைக் குறிக்கும். உதாரணமாக நேர் வட்டக் கூம்பொன்று ஒரு கோளத்தை 11.2(b)-ல் காட்டப்பட் டுள்ளவாறு, கோள உச்சிப் பரப்பு A உண்டாகுமாறு வெட்டுவ தாகக் கொள்வோம். அக்கூம்பினுள் அடங்கும் கோணம் திண்மைக் கோணம் (Solid angle) எனப்படும். எனவே திண்மைக் கோணம் ω-வை,

$$= \frac{\text{கோணத்தினுள் அடங்கும் கோளத்தின் புறப்பரப்பு } `A'}{(\text{கோளத்தின் ஆரம்})^2}$$

என வரையறுக்கலாம்.

$$\text{அதாவது } \omega = \frac{A}{K^2}.$$

எனவே திண்மைக் கோணம், கோளத்தின் ஆரத்தின் வேறுபட்ட மதிப்புகளையோ அல்லது பரப்பை அளப்பதற்குப் பயன்படும் அலகுகளையே பொறுத்தது அல்ல. திண்மைக் கோணத்தை அளப்பதற்குப் பயன்படும் அலகு ஸ்டிரேடியன்கள் (Steradians) ஆகும். எனவே ஒரு ஸ்டிரேடியன், ஓரலகு ஆரம்கொண்ட கோளத்

தின் புறப் பரப்பில், ஓரலகுப் பரப்பைக் கொள்கின்றது. எனவே கோளமொன்றின் மையத்தில் உண்டாகும் திண்மைக் கோணம்,

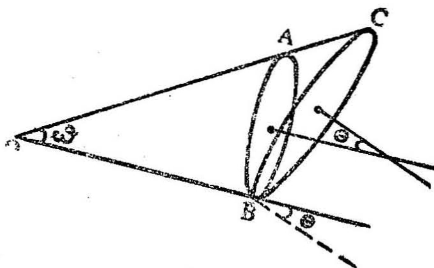
$$= \frac{\text{கோளத்தின் புறப்பரப்பு}}{(\text{கோளத்தின் ஆரம்})^2}$$

$$= \frac{4\pi R^2}{R^2}$$

$= 4\pi$ ஸ்டிரேடியன்கள் ஆகும்.

அதாவது புள்ளியொன்றில் அமையும் திண்மைக் கோணம் 4π ஸ்டிரேயன்கள் ஆகும்.

எனவே படம் 11.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோன்று பரப்பு BC யானது புள்ளி O-வில் தாங்கும் திண்மைக் கோணத்தைத் தீர்மானிக்க வேண்டுமெனக் கொள்வோம். பரப்பின் இறுதிப் புள்ளிகள் B, C ஆகியவற்றை O-வுடன் இணைக்கவும். OBC



படம் 11.3.

என்னும் கூம்பு கிடைக்கின்றது. OB-ஐ ஆரமாகவும் O-வை மைய மாகவும் கொண்டு கோளமொன்றை வரையவும். இக்கோளம், கூம்பு OBC-ஐ A, B என்னும் விளிம்பு புள்ளிகளில் வெட்டிக்கொள் கின்றது. எனவே கூம்பினுள் கோளத்தின் புறப் பரப்பு AB, O-வில் அமைக்கும் திண்மைக் கோணம்.

$$= \frac{\text{பரப்பு } AB}{(OB)^2} \text{ ஆகும்.}$$

பரப்புகள் BC, AB இவைகளுக்கிடைப்பட்டக் கோணம் θ எனில்,
பரப்பு $AB =$ பரப்பு BC . காஸ் θ ஆகும்.

$\therefore$ BC-யானது O-வில் அமைக்கும் திண்மைக் கோணம் $= \dfrac{\text{பரப்பு } AB}{(OB)^2}$

$= \dfrac{\text{பரப்பு } BC.\ \text{காஸ் } \theta}{OB^2}$ ஆகும்.

[*குறிப்பு: பாடத் திட்டத்தில் (Syllabus) இடம் பெருத பகுதி. ஆனுல் ஒளியளவியலைப் படித்தலுக்குத் தெரிந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாகும்.]

11.6. ஒளிவிளக்கப் பாயம்:

மங்கலான ஒளியூட்டமுடைய பொருளொன்றை நிழற் படம் எடுக்கும்பொழுது அதிகக் காலத்திற்கு ஒளித்திறப்பு (Exposure) செய்ய வேண்டியுள்ளது. படத் தகட்டின்மீது பூசப்பட்டுள்ள கூழின் [Emulsion] செயல்திறன், அதன்மீது படும் ஒளியாற்றலின் அளவைப் பொறுத்தது. ஆனுல் கண்ணைப் பொறுத்த வரை பொலிவுப் பார்வை உணர்வு (Sensitiveness of Brighiness), கண்ணுள்ளே செல்லும் ஒளிஆற்றல்-கால வீதத்தைப் பொறுத்தது. ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து ஒரு விநாடியில் வெளியே பாயும் ஒளியாற்றல் ஒளிவிளக்கப் பாயம் (Luminous flux) எனப்படும். ஒளிவிளக்கப் பாயத்தின் அலகு லூமென் (Lumen) ஆகும்.

படித்தர வத்தியின் ஒளி செலுத்தும் தன்மையைக்கொண்டு லூமென் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு படித்தரவத்தியின் அளவுக்கு ஒளியை வெளியிடும் ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து, ஓரலகு திண்மைக் கோணத்தில் வெளியிடப்படும் ஒளிவிளக்கப் பாயத்தின் (Luminons flux) அளவு ஒரு லூமென் எனப்படும். எனவே படித்தர வத்தியானது ஒளியை எல்லாத் திசைகளிலும் சம அளவில் பரப்பினுல், மொத்தம் 4π ஸ்டிரேடியன்களில் ஒளி பரவுகின்றது. இதனுல் எல்லாத் திசைகளிலும் அதிலிருந்து பரவும் மொத்த ஒளிவிளக்கப் பாயம் (Total luminous flux) 4π லூமென்கள் ஆகும். ஒளிவிளக்கப் பாயத்தை எப்பொழுதும் F என்ற எழுத்தினுல் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

11.7. ஒளியூட்டம்

பொருள்களெல்லாம் அவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் ஒளியினுல் கண்ணுக்குப் புலனுவதினுல், ஒளியை அவற்றின் மீது படுமாறு செய்ய வேண்டும். அதாவது அவைகளை ஒளியூட்ட வேண்டும். ஒளியூட்டும்பொழுது ஒளியூட்டம் (Illumination) அதிகமாக இருந்தால்தான் நன்ருகப் பார்க்க இயலுகின்றது.

ஒரு பொருளின் பரப்பு அடைந்திருக்கும் ஒளியூட்ட அளவை அதன் ஓரலகுப் பரப்பின்மீது படும் ஒளிவிளக்கப் பாயத்திணைக்

கொண்டு அளக்கலாம். இதன்படி A அலகுகள் பரப்பு கொண்ட ஒரு பரப்பின் மீது விழும் ஒளிவிளக்கப் பாயத்தின் ஒளி ஆற்றல்-காலவிதம் F-லூமென்கள் என்றும் பரப்பின்மீது ஏற்படும் ஒளியூட்டம் (Illumination) E என்றும் கொண்டால்,

$$\text{ஒளியூட்டம் } E = \frac{F}{A}$$

ஒளியூட்டத்திற்கு பயன்படுத்தப்படும் அலகு, லூமென்கள்/ஓரலகுப் பரப்பு (lumens/unit area) ஆகும்.

'பாட்' (Phot) என்பது ஒளியூட்டத்திற்கான அலகாகும். ஒரு பரப்பானது ஒளிப்பாயத்திற்கு நேர்குத்து நிலையில் வைக்கப்படும் பொழுது, அப்பரப்பின் ஒவ்வொரு ச.செ.மீ. மீதும் ஒரு லூமென் ஒளிப்பாயம் படுமேயானல், ஒரு "பாட்" ஒளியூட்டம் ஏற்பட்டுள்ளது எனப்படும். அதாவது ஒரு செ.மீ. ஆரம் கொண்ட கோளத்தின் மையத்தில் படித்தர வர்த்தி திறன்கொண்ட புள்ளி ஒளிமூலமொன்று வைக்கப்படும் பொழுது, அக் கோளத்தின் பரப்பு பெறும் ஒளியூட்டத்திற்குச் சமமாகும்.

இந்த அலகு மிகப் பெரியதொன்றுகும். எனவே மீட்டர் வத்தி (Me re-candle) வரையறுக்கப்பட்டது, ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பின்மீது ஒரு லூமென் ஒளிப்பாயம் நேர்க்குத்தாகப் படும் பொழுது ஏற்படும் ஒளியூட்டம், மீட்டர்-வத்தி எனப்பட்டது. இந்த ஒளியூட்டமானது, ஒரு மீட்டர் ஆரம்கொண்ட கோளத்தின் மையத்தில் ஒரு படித்தர வத்தி திறன் கொண்ட புள்ளி ஒளிமூலம் வைக்கப்படும் பொழுது, அக் கோளப்பரப்பின் மீது ஏற்படும் ஒளியூட்டத்திற்குச் சமமாகும். எனவே மீட்டர் வர்த்தி "பாட்" ஆகும்.

$$\text{எனவே மீட்டர் வர்த்தி} = \left(\frac{1}{100}\right)^2 \text{ ``பாட்''. ஆகும்.}$$

[குறிப்பு: நம்மிடம் சம அளவு ஒளியூட்டம் கொண்ட இரு பரப்புகள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதில் ஒன்று ஒரு ச.அடி பரப்புடையது எனவும். மற்றது ச.மீட்டர் பரப்புடையது எனவும் கொண்டால், ஒரு ச.மீட்டர் பரப்பின் மீது படும் ஒளி அளவுதான் அதிகம் என்பது தெளிவு. ஏனெனில் 1 மீ = 3 28 அடி. எனவே,

$$1 \text{ லூமென்/மீட்டர்}^2 = \left(\frac{1}{3.28}\right)^2 \text{லூமென்/(அடி)}^2$$

அல்லது

$$0.093 \text{ லூமென்/அடி}^2 \text{ ஆகும்.}$$

மேலும்

$$1 \text{ லூமென்/அடி}^2 = 10.76 \text{ லூமென்/(மீட்டர்)}^2]$$

ஒளியூட்டங்களில் ஏற்படும் பெரும் மாறுதல்களுக்கு ஏற்ப நம் கண்கள் சரிசெய்து கொள்கின்றன. இது கண் தக அமைதல் (Accomodation of the eye) எனப்படும். கோடைக்கால வெப்ப நிலையில் ஏறத்தாழ 1,07,600 லூமென்/ச.மீ. அளவுக்கு ஏற்படும் ஒளியூட்டம், மழைக்காலத்தில் மேக மூட்டமாக இருக்கும்பொழுது, 6000 லூமென்/ச. மீ. அளவுக்கு மாறுகின்றது. இந்த மாறுதல்களுக்கு ஏற்ப கண் தன்னைப் பக்குவப்படுத்திக் கொள்ளும் வகையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இரவு நேரத்தில் பெரும்பாலும் 30 லூமென்/ச.மீ. அளவிலிருந்து 220 லூமென்/ச. மீ. செயற்கை ஒளியூட்டங்கள் இருக்குமாறு விளக்குகளை வைத்துக் கொள்கிறோம். இதற்கும் நம் கண்கள் பழக்கப்பட்டவைகளாக உள்ளன. பலவகைப்பட்ட செயல்களுக்குக் கீழ்கண்ட ஒளியூட்டங்கள் போதுமெனப் பாகுபடுத்தியுள்ளனர்.

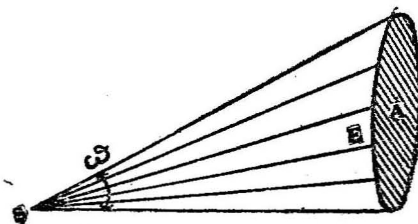
	ஒளியூட்டம் (லூமென்/ச.மீ.)
படிப்பதற்கு	75
கடின நிலை படிப்பிற்கு	160
சமையலறை	75
தூக்க அறை	30
வரவேற்பு அறை	75
உண்ணும் அறை	75
கடையின் உள்பக்கம்	110-ம் அதற்கு மேலும்
கடையின் வெளிப்பக்கம்	1100-ம் அதற்கு மேலும்
அச்சுக் கோர்க்கும் அறை	320
அறுவை சிகிச்சை அறை	3200

11.8. ஒளிவிளக்கச் செறிவு (அல்லது) ஒளியூட்டத் திறன்

(Luminous Intensity or Illuminating Power)

படம் 11.4-ல் புள்ளி ஒளிமூலம் S-ஆல் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ள பரப்பு A-காட்டப்பட்டுள்ளது.

பரப்பு A-ன் ஒளியூட்டம் S-ல் இருந்து அதன்மீது படும் ஒளி விளக்கப் பாயத்தைப் பொறுத்துள்ளது. அதாவது பரப்பு A-யினுல்,



படம் .11 4

S-ல் தாங்கப்படும் திண்மைக் கோணம் ω-யின் வழியாக ஒளிமூலம் S-லிருந்து பரப்பை அடையும் ஒளி விளக்கப் பாயத்தைப் பொறுத்தது. ஒளிச் செறிவு மிக்க மூலமாக இருப்பின், குறைந்த அளவு திண்மைக் கோணத்திற்குக் கூடப் பரப்பு A அதிக ஒளியூட்டத்தைப் பெறும். எனவே ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து குறிப்பிட்டதொரு திசையில் ஓரலகுத் திண்மைக் கோணத்தில் வெளியிடப்படும் ஒளிவிளக்கப் பாயம், அவ்வொளி மூலத்தின் ஒளிச் செறிவு அல்லது ஒளியூட்டத்திறன் (Luminous intensity or illuminating power) எனப்படும். இது I-என்னும் எழுத்தால் குறிக்கப்படும். இதன் அலகு லூமென் ஆகும்.

படித்தர வத்தியானது ஓரலகு திண்மைக் கோணத்தில் ஒரு லூமென் ஒளிப்பாயத்தை வெளியிடுகின்றது. எனவே குறிப்பிட்ட திண்மைக் கோணத்தில் ஒளி மூலமொன்று வெளிவிடும் ஒளி விளக்கப் பாயத்திற்கும், படித்தரவத்தி வெளியிடும் ஒளிவிளக்கப் பாயத்திற்குமான விகிதம், ஒளியூட்டமாகின்றது. எனவே ஒளியூட்டத்திற்கான அலகு படித்தர வத்தியாகும். இதனுல் ஒளி மூலங்களைக் கருதும் பொழுது குறிப்பிட்ட அளவு படித்தர வத்தி திறன் கொண்டது எனக் குறிப்பிடலாம்.

11.9. பரப்பொன்றின் ஒளியூட்டம்

ஒரு சீரான புள்ளி ஒளிமூலத்திலிருந்து வெளியிடப்படும் ஒளிக்கதிர்களுக்கு முன்னர் வைக்கப்படும் சிறு பரப்பொன்றின் ஒளியூட்டம் (Illumination),

(அ) ஒளிமூலத்திலிருந்து பரப்பு வைக்கப்பட்டுள்ள தூரம்,

(ஆ) ஒளிமூலத்தின் செறிவு,

(இ) பரப்பின் மீது ஒளிக்கதிர்கள் படும் கோணம்,

ஆகியவைகளைப் பொறுத்தது.

(அ) ஒளிமூலம்—பரப்பு இவைகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவினால் ஏற்படும் விளைவு

S-என்பது சீரான ஒளி கொடுக்கும் புள்ளி மூலம் எனக் கொள்வோம். அதன் ஒளிவிளக்கச் செறிவு P எனக் கொள்வோம். ஒரு விநாடிக்கு அதிலிருந்து வெளியிடப்படும் மொத்த ஒளி ஆற்றல் $4\pi P$ லூமென்கள் ஆகும். S-ஐ மையமாகவும் r_1 அலகு ஆரமும் கொண்ட ஒரு கோளத்தைக் கருதுவோம். அக் கோளத்தின் ஓரலகு சதுரப்பரப்பின் மீது செங்குத்தாக விழும் ஒளி ஆற்றல் $\frac{4\pi P}{4\pi r_1^2}$ ஆகும். அல்லது $\frac{P}{r_1^2}$ என்பது அப் பரப்பின்மீது உள்ள ஒளியூட்டம் ஆகும்.

முன்போலவே் r_2 அலகு ஆரமும், S-ஐ மையமாகவும் கொண்ட மற்றொரு கோளம் வரைய அதன் பரப்பின்மீது செங்குத்தாக விழும் ஒளியூட்டத்தின் மதிப்பு $\frac{P}{r_2^2}$ என்பதாகும். எனவே ஒளிமூலத்தின் ஒளிச்செறிவு எதுவாக இருப்பினும் ஒளியூட்டங்களின் மதிப்புகளின் விகிதம் $\frac{1}{r_1^2} : \frac{1}{r_2^2}$ ஆகும். அதாவது மற்ற எல்லா அளவுகளும் சமமாக இருக்கும் பொழுது ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஒளியூட்டம், அப் புள்ளி ஒளிமூலத்திலிருந்து இருக்கும் தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கின்றது.

(ஆ) ஒளிமூலத்தின் செறிவினால் ஏற்படும் விளைவு

முன்பகுதிப்படி P அலகு ஒளிச்செறிவு கொண்ட r_1 தூரத்தில் ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்தினால் உண்டாகும் ஒளியூட்டம் $\frac{P}{r_1^2}$ ஆகும். எனவே ஒளியூட்டம், ஒளிச்செறிவிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. ஒரு பரப்பில் ஏற்படும் ஒளியூட்டம், ஒரு மூலத்தின் ஒளிச்செறிவு இவைகளுக்கு இடைப்பட்ட இந்த தொடர்பை, இரண்டு ஒளி மூலங்களின் ஒளிச் செறிவுகளை ஒப்பிடுதலுக்குப் பயன்படுத்தலாம். இரண்டு ஒளி மூலங்களின் ஒளிச் செறிவுகள் முறையே P_1, P_2 என்றும், அவைகளினால் சம ஒளியூட்டம் ஏற்படும் புள்ளிகள் முறையே r_1, r_2 தூரங்களில் அமைந்துள்ளன என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2}$$

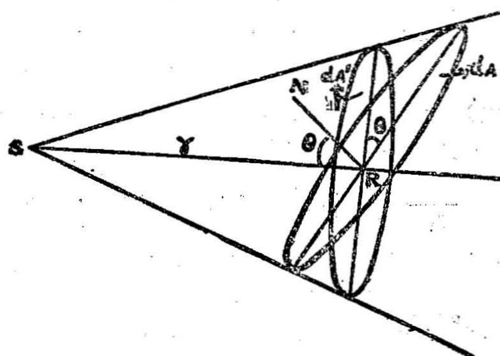
அல்லது,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

(இ) படுகோணத்தினால் ஏற்படும் விளைவு

ஒளிச்செறிவு P அலகுகள் கொண்ட ஒளிமூலம் S-ல் இருந்து, r-தூரத்திலுள்ள சிறு பரப்பு dA'-ன்மீது செங்குத்தாக விழும் ஒளிப் பாயத்தின் மதிப்பு $\left(\frac{P}{r^2} \cdot dA'\right)$ ஆகும். பரப்பு dA'-க்கு θ கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும் பரப்பு dA-வும் இதே பாயம் $\left(\frac{P}{r^2} \cdot dA'\right)$ஐப் பெறும். ஆனால் $dA' = dA$ காஸ் θ. எனவே dA-வின் வழியாகச் செல்லும் பாயம் $\frac{P}{r^2}\, dA$ காஸ் θ ஆகும். பரப்பு dA-வின் வழியாகச் செல்லும் பாயம் $= \frac{P}{r^2} \cdot dA$ காஸ் θ.

எனவே ஓரலகுப் பரப்பின் மீது விழும் பாயம் $= \frac{P}{r^2}$ காஸ் θ.



படம் 11.5

பரப்பு dA-வின் மீது கதிர்கள் படும் கோணமானது கதிர் SR, பரப்பு dA-வுக்கு குத்துக்கோடான RN, இரண்டுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் θ வாகும். எனவே 'r' தொலைவிற்கு அப்பால் அமைந்துள்ள ஒரு பரப்பின் மீது P அலகுகள் ஒளிச் செறிவு கொண்ட ஒரு ஒளி மூலத்திலிருந்து கதிர்கள் படுகோணம் θ-வாக இருக்கும் பொழுது ஏற்படும் ஒளியூட்டம் $I = \frac{P \text{ காஸ் } \theta}{r^2}$

எனவே, பரப்பொன்றின்மீது ஏற்படும் ஒளியூட்டம் படு கோணத்தின் காஸ் மதிப்பைப் பொறுத்து மாறுபடுகின்றது. இது தான் ஒளியூட்டத்திற்கான லாம்பெர்டின் காஸ்விதி (Lambert's cosine law) எனப்படுகின்றது. மேலும், இது புள்ளி ஒளி மூலங் களுக்கும் சிறு பரப்புகளுக்குமே பொருந்தும் என்பது கவனிக்கத் தக்கது.

11.10. இரண்டு ஒளி மூலங்களின் ஒளிச்செறிவுகளை ஒப்பிடுதல் :

பரப்புகளின் பளபளப்புகளில் ஏற்படும் வேறுபாடுகளைக் கண் எளிதில் காணும் தன்மை கொண்டது. இந்த உண்மை ஒளி மூலங்களின் ஒளிச்செறிவுகளை ஒப்பிடுவதில் பெரிதும் பயன் படுகின்றது.

இரண்டு பரப்புகள் A_1, A_2 என்பவை ஒளியைச் சம அளவில் விரவல் அடையும்படிச் செய்பவை எனக் கொள்வோம். அவைகள் முறையே P_1, P_2 என்னும் ஒளிச்செறிவுகள் கொண்ட S_1, S_2 என்னும் ஒளி மூலங்களால் ஒளியூட்டப்படுகின்றன எனக் கொள் வோம். ஒளிக்கதிர்கள் அவைகளின் மீது நேர்க்குத்தாகப்பட்டால்

$$A_1\text{-ன் ஒளியூட்டம்} = \frac{P_1}{r_1^2}\text{-ம்},$$

$$A_2\text{-ன் ஒளியூட்டம்} = \frac{P_2}{r_2^2} \text{ ஆகும்.}$$

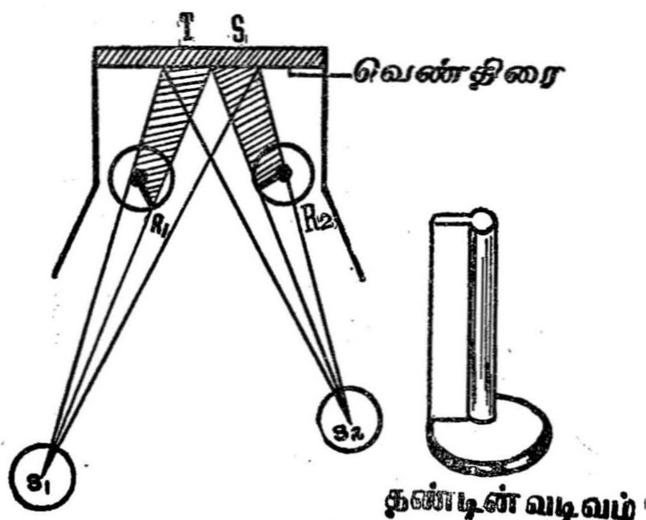
இரண்டு பரப்புகளும் சம அளவு ஒளி பெறுமானால் அவைகளின் ஒளியூட்டங்களும் சமமாகும். எனவே,

$$\frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2}.$$ இந்தச் சமன்பாடு ஒளியளவியலைப் படிப்பதற்குப் பயன்படும் அடிப்படைச் சமன்பாடாகும். ஒளி மூலங்களின் செறிவுகளை ஒப்பிட இந்த முடிவை அடிப்படையாகக் கொண்டு பல ஒளியளவியல் மானிகள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

ஒளி அளவியல் மானிகள்

11.11. ரம்ஃபோர்டின் நிழல்-ஒளிமானி (Rumford's shadow photometer)

இந்த ஒளி அளவியல்மானி மிகவும் எளிதானது. இதில் R_1, R_2 என்னும் இரண்டு தண்டுகள் படம் 11.6-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது போன்ற அமைப்பில் உள்ளன. இவைகள் ஒளியை விரவச் செய்யும் வெண்திரையொன்றின் முன்னால் வைக்கப்பட்டு உள்ளன. மேலும் இந்த தண்டுகள் ஒரு குத்து அச்சின்மேல் சுழலும்வண்ணம் உள்ளன. S_1, S_2 ஒன்பவை ஒப்பிடப்பட வேண்டிய ஒளிமூலங்கள் எனக் கொள்வோம். S_1-னால் ஏற்படும் R_1-ன் நிழல் திரையின்மீது T என்னும் பகுதியிலும், S_2-வினால் ஏற்படும், R_2-வின் நிழல் திரையின் S என்னும் பகுதியிலும் விழுகின்றன. இரண்டு நிழல்களும் ஒன்றையொன்று சற்றே



படம் 11 6. ரம்ஃபோர்டின் நிழல் ஒளிமானி

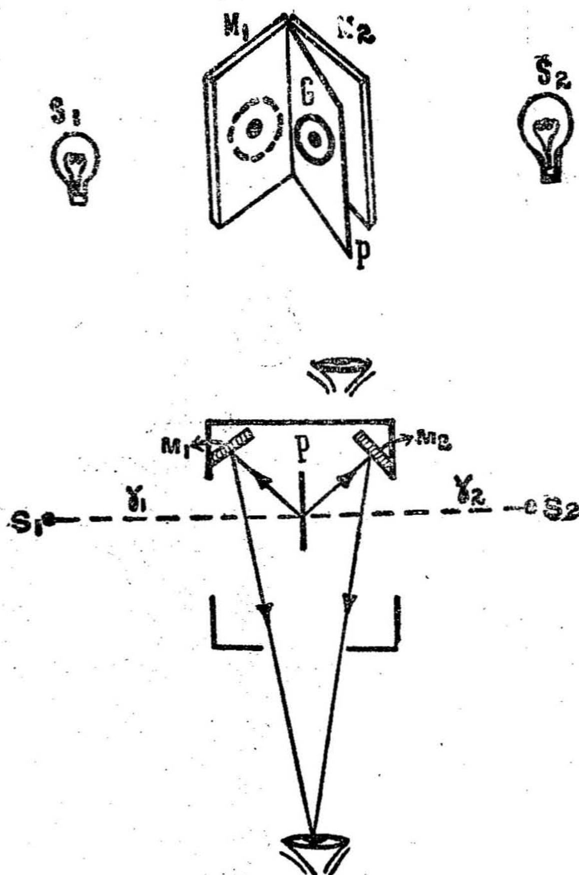
தொடும்வரை தண்டுகள் சுழற்றப்படுகின்றன. ஆனால் ஏற்படும் நிழல்கள் ஒன்றின்மேல் மற்றது அமையக்கூடாது. திரையின்மீது T-என்னும் பகுதியில் அமையும் நிழல் S_1-ஆல் ஏற்படுத்தப்பட்டது. ஆனால் S_2-ஆல் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. இப்பொழுது இரு நிழல்களும் சம அளவு கருமையாக இருக்குமாறு ஒளிமூலங்களின் நிலைகளைச் சரிசெய்ய வேண்டும். இச்சமயத்தில் திரையின்மீது இரண்டு ஒளிமூலங்களினாலும் ஏற்படும் ஒளியூட்டம் சமமாகும். எனவே ஒளிமூலங்களின் ஒளிச்செறிவுகளின் விகிதம், திரையிலிருந்து அவைகளுக்குள்ள தூரங்களின் இருமடிக்கான விகிதத்திற்குச் சமமாகும். எனவே அவைகள் முறையே ஒளிச்செறிவுகள் P_1, P_2 அளவு கொண்ட மூலங்கள் என்றும், திரையிலிருந்து அவை அமையும் தொலைவுகள் முறையே r_1, r_2 எனவும் கொண்டால்

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$. எனவே, r_1, r_2 இவற்றைக்கொண்டு அவைகளின் ஒளிச்செறிவுகளை ஒப்பிடலாம். S_1-என்பது படித்தரம் எனக்கொண்டால், P_1 தெரிந்த அளவாக அமையும். எனவே, ஒளிமூலம் S_2-வின் ஒளிச்செறிவினைக் கணக்கிட இயலும்.

11.12. புன்சனின் ஒளிமானி (Bunsen's photometer)

இவ்வொளிமானியில் ஒளி புகா வெண்தாள் P சட்டமொன்றில் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதன் மையத்தில் ஒரு

சிறு வட்டப் பகுதியில் கிரீஸ் தடவப்பட்டு, அப்பகுதி G மட்டும் ஒளிக்கசியும் பரப்பாகச் செய்யப்பட்டுள்ளது.



படம் 10.7. புன்சனின் கிரீஸ் பொட்டு ஒளிமானி

ஒப்பிடவேண்டிய இரண்டு ஒளிமூலங்கள் S_1, S_2 இரண்டிற்கு மிடையில் அவைகளின் மையங்களும், ஒளி அளவியல்மானியின் மையமும் ஒரே கிடைக்கோட்டில் அமையுமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒளிமூலம் S_1 ஏதாவது ஒரு பொருத்தமான தொலைவில் வைக்கப் படுகின்றது. பின்னர் S_2-வின் நிலையை மாற்றி, வெண்தாளின் மற்றப் பகுதிகளிலிருந்து கிரீஸ் உள்ள பகுதியை வேறுபடுத்த இயலாத அளவுக்குச் சம ஒளியூட்டம் ஏற்படுமாறு செய்யப் படுகின்றது. இப்பொழுது கிரீஸ் இடப்பட்ட பகுதி பெருமளவு

ஒளியை ஊடுருவ விடுகின்றது. தாளின் மற்றப் பகுதி எதிரொளிக்கின்றது. கிரீஸ் பகுதியில் படும் ஒளியில் ஒரு பகுதியான x-ஐ ஊடுருவவும், $(1-x)$ஐ எதிரொளிக்கவும் செய்கின்றது எனக் கொள்வோம். மேலும், S_1-ன் ஒளியூட்டம் I_1-எனவும் S_2-வின் ஒளியூட்டம் I_2-எனவும் கொள்வோம்.

S_1-ன் பக்கமிருந்து பார்த்தால், கிரீஸ் பட்ட பகுதியின் ஒளிச் செறிவு $x \cdot I_2+(1-x)I_1$ ஆகும். இதில் முதல் பகுதி S_2 பக்கத்திலிருந்து கசிந்தது; இரண்டாவது பகுதி S_1-பக்கத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்டது. இந்த ஒளிச்செறிவானது தாளின் மற்றப் பகுதிகளிலுள்ள ஒளிச்செறிவுக்குச் சமம் எனில்,

$$x \cdot I_2 + (1-x)\, I_1 = I_1$$

$$xI_2 = xI_1$$

அல்லது $I_2 = I_1$

இதேபோல் S_2 பக்கத்திலும் கணக்கிடலாம்.

$$x \cdot I_1 + (1-x)\, I_2 = I_2$$

எனவே, $I_1 = I_2$

எனவே, கிரீஸ் இடப்பட்ட பகுதி மற்றப் பகுதியிலிருந்து வேறுபடுத்த இயலாமல் இருக்கும்பொழுது, S_1, S_2 இவைகளினால் இரண்டு பக்கங்களிலும் ஏற்படுத்தப்படும் ஒளியூட்டங்கள் சமமாகும். எனவே P_1, P_2 முறையே அவைகளின் ஒளிச்செறிவுகளையும், r_1, r_2 என்பவை வெண்தாளிலிருந்து அவைகளின் தூரங்களையும் குறிக்குமானால்,

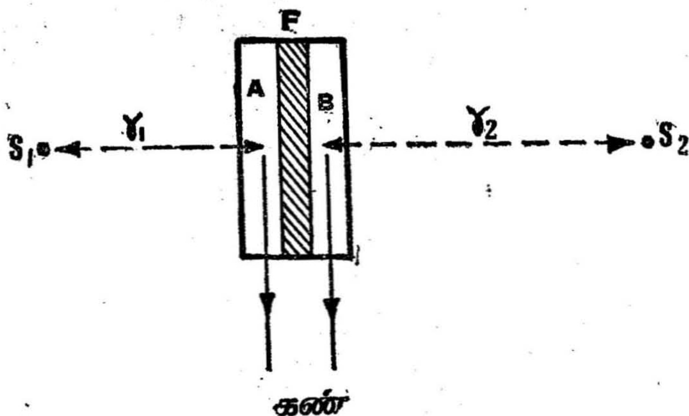
$$\frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2}$$

வெண்தாளின் இரண்டு பக்கங்களையும் ஒரே நேரத்தில் பார்ப்பதற்கு வசதியாக, படம் 11.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி, M_1, M_2 என்னும் இரண்டு சமதள ஆடிகள் பொருத்தப் பட்டுள்ளன.

11.13. ஜாலியின் பாரபின் மெழுகு ஒளிமானி

பாரபின் மெழுகு ஒளிமானி ஒளிபுகாத் (Opaque) தகடான O-வின்மீது பக்கத்திற்கு ஒன்றாக பொருத்தப்பட்டுள்ள, இரண்டு பாரப்பின் மெழுகுக்கட்டி பரப்புகள் A_1, A_2 ஆகியவற்றைக்கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளதாகும். இந்த அமைப்பினால் ஒளி ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்திற்குச் செல்ல இயலாது. படம்

11.8-ல் F-என்பது ஒளிபுகாத் தகடு; A, B என்பவை சம அளவு பரப்பும் தடிமமும் கொண்ட மெழுகுக் கட்டிகள்.



படம் 11.8. ஜாலியின் பாரபின் மெழுகு ஒளிமானி

இப்பொழுது மெழுகுக் கட்டிகளின் அமைப்பு ஒரு நகர்த்தக் கூடிய தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டால், ஒளியளவியல் மானியாகச் செயல்படுகின்றது. ஒளிமானியின் இரண்டு பக்கங்களிலும் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக ஒப்பிடவேண்டிய ஒளிமூலங்கள் S_1, S_2 இரண்டும் வைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். S_1, S_2 இவை களிலிருந்துவரும் ஒளி முறையே A, B என்னும் மெழுகுக் கட்டிகளை ஒளியூட்டுகின்றன.

இப்பொழுது S_1 என்னும் ஒளிமூலத்தை ஒளிமானியிலிருந்து குறிப்பிட்ட தூரம் r_1 இருக்குமாறு நிலையாக வைக்கவும். E-ல் கண்ணை வைத்து பார்க்கும்பொழுது இரண்டு மெழுகுக் கட்டிகளும் சம அளவு ஒளியைப் பெறும்படி S_2-வை மாற்றிச் சரிசெய்யவும். இரு பக்கங்களும் சம ஒளியூட்டம் பெறும் நிலையில் S_2, B இரண்டுக்கு மிடைப்பட்ட தூரம் r_2 எனக் கொள்ளவும்.

எனவே,

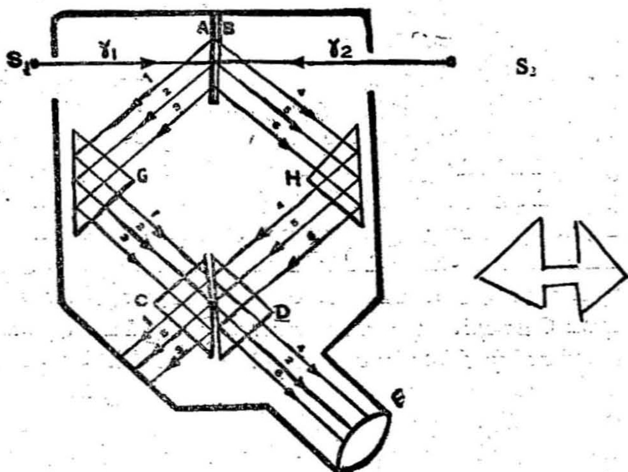
$$\frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2}$$

அல்லது

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \text{ ஆகும்.}$$

11.14. லம்மர்-பிராடன் ஒளிமானி :

எங்கெல்லாம் ஒளிர் செறிவுகளை மிகவும் நுண்ணிய அளவுக்கு ஒப்பிட வேண்டுமோ அங்கெல்லாம், லம்மர்-பிராடன் (Lummer-Brodhun) ஒளிமானி பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இது புன்சனின், கிரீஸ்-பொட்டு ஒளிமானியின் சிறப்புற அமைக்கப்பட்ட வடிவமாகும். இதில் 45° கோணங்களைக் கொண்ட இரு செங்கோணப் பட்டகங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் மூலம் ஒரு பக்கத்திலிருந்து வரும் ஒளியின் முழுப்பகுதியும் அதே பக்கம் முழு அக எதிரொளிப்பு அடையுமாறும், மறுபக்கத்தில் இருந்து வரும் ஒளி முழுவதும் ஊடுருவிச் செல்லுமாறும் செய்யப்படுகின்றது. இதில் முழுவதுமாக ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளி, பார்வைப் புலத்தில் ஏற்படும் படிவத்தின் மையமாக அமைகின்றது.



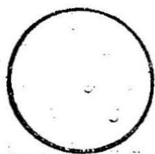
படம் 11.9. லம்மர்-பிராடன் ஒளிமானி

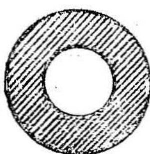
படம் 11.9-ல் உள்ள C, D என்பவை இரு சமபக்கச் செங்கோணப் பட்டகங்களாகும். அவைகளின் கர்ணப் பக்கங்கள் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. பட்டகம் C-யின் கர்ணப்பக்கம் குவிபரப்பாக இருக்குமாறு வளைந்துள்ளமையால், பட்டகங்கள் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பரப்பு, மையத்தில் ஒரு சிறு வட்ட அளவாக அமையும். மற்ற இடங்களில் இரண்டுக்கும் இடையே காற்றுப் படலம் இருக்கும். இது தான் லம்மர் பிராடன் கனச் சதுரம் எனப்படும்.

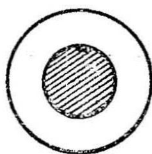
படத்தில் காணப்படும் A, B என்பன மங்கனீசியம் கார்பனேட்டு போன்ற ஒளிவிரவும் பொருளால் பூசப்பட்டுள்ள திரையொன்றின்

இரண்டு பக்கங்கள். இரண்டு பக்கங்களிலும் முறையே S_1, S_2 என்ற ஒளிமூலங்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. அவைகளில் இருந்து வரும் ஒளி செங்குத்தாக இப்பரப்புகளின் மீது படும்பொழுது இவை ஒளியூட்டப்படுகின்றன. திரையின் இரு பக்கங்களிலிருந்தும் ஒளி எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இவற்றில் A-யிலிருந்து எதிரொளிப்பிற்குப் பிறகு வரும் 1, 2, 3 என்னும் எண்ணிட்ட கதிர்கள் பட்டகம் G-யில் முழு எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் பட்டகம் C-ஐ அடைகின்றன. அதேபோல் B-யில் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் 4, 5, 6 என்னும் எண்ணிட்ட கதிர்கள், H ல் முழு எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் பட்டகம் D ஐ அடைகின்றன. பட்டகம் C-யின் மீது விழும் கதிர்களில் 1, 3 முழு அக எதிரொளிப்புக்கு உள்ளாகின்றன. கதிர் 2 மட்டும் ஊடுருவிச் செல்கின்றது. கண்ணருகு வில்லை E, பட்டகம் D-யின் கர்ணத்தை நோக்கி வைக்கப்பட்டிருந்தால், பார்வைப் புலனின் மையப் பகுதி, A-யிலிருந்து ஊடுருவி வரும் கதிர் 2-ஆல் ஒளியூட்டப்படும். மற்றப் பகுதிகள் B-யிலிருந்து வந்து D-யில் அக எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் பார்வைப் புலத்தை அடையும் கதிர்கள் 4, 6 இவற்றால் ஒளியூட்டப்படும். திரையின் பக்கங்கள் A, B ஆகியவை முறையே S_1, S_2 ஒளிமூலங்களால் சம அளவுக்கு ஒளியூட்டப்பட்டிருந்தால், பார்வைப்புலம் முழுவதும் ஒரே யளவு ஒளியூட்டத்துடன் படம் 11.10 a)-ல் இருப்பதுபோன்று காணப்படும். இவ்வாறு இல்லாமல் A அதிகப் பொலிவுடன் இருந்தால் படம் 11.10(b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோலவும் B அதிகப் பொலிவுடன் இருந்தால் படம் 11.10 c)-யில் உள்ளதுபோலவும் பார்வைப் புலம் தெரியும். இவைகள் சமமாக ஒளியூட்டம் அடையுமாறு ஒளி மூலங்களின் நிலைகளைச் சரிசெய்து படம் 11.10 a)-ல் உள்ளவாறு பார்வைப் புலத்தைச் சரிசெய்தால், ஒளியூட்டங்கள் சமமாகும். எனவே S_1-ன் ஒளிச்செறிவு P_1 என்றும், அது திரையினின்று உள்ள தூரம் r_1 என்றும், S_2-வின் ஒளிச் செறிவு P_2 என்றும் அது திரையிலிருந்து உள்ள தூரம் r_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$


(a)


(b)

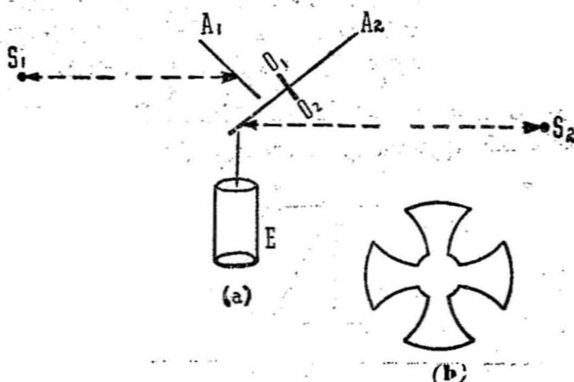

(c)

படம். 11.16.

முழு அமைப்பும் ஒரு உலோகப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டு உட்புறம் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. பெட்டியின் இரு பக்கங்களி லும் உள்ள துளைகளின் வழியாக ஒளிமூலங்களில் இருந்துவரும் ஒளி, திரையின் இரண்டு பக்கங்களிலும் விழுமாறு அமைக்கப்பட் டுள்ளது. மேலும் கதிர் 2 பட்டகத்தினுள் செல்லும் தூரமும் கதிர்கள் 4, 6 இரண்டும் செல்லும் தூரமும் சமஅளவாக இருக்கு மாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளமையால் ஒளி உட்கவர்தலால் ஏற்படும் ஒளிச் செறிவுக் குறையும் அளவுகள் சமமாக இருக்கும்.

11.15. இமைத்தல் முறை ஒளிமானி (Flicker Photometer) :

ஒளிமூலங்கள் வெவ்வேறு நிறங்களைக் கொண்டவைகளாக இருக்கும்பொழுது, அவைகளின் ஒளிச் செறிவுகளை அவைகள் ஒரு திரையின் இரண்டு பக்கங்களைச் சமஅளவு ஒளியூட்டம் ஏற்படுத் தலைக் காணுதல் மூலம் ஒப்பிட்டுக் காண இயலாது. இங்கு அவை உண்டாக்கும் ஒளியூட்ட வேறுபாட்டைச் சமன்செய்தல் இயலாத தாகின்றது. இதுபோன்ற இடங்களில் இமைத்தல் முறை ஒளி மானி பயன்படுத்தப்படுகின்றது.



படம் 11.11. இமைத்தல் முறை ஒளிமானி

இமைத்தல் முறை ஒளிமானியில் (படம் 11.11-ல்) காட்டப்பட் டுள்ளவாறு, A_1, A_2 என்னும் இரண்டு ஒளி விரவும் திரைகள் உள்ளன. இவற்றில் A_1 நிலையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. திரை A_2, அச்சு $O_1 O_2$-வைக்கொண்டு சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள் ளது. மேலும் A_2 வானது படம் 11.11(b-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு, பாதிப் பரப்புகள் வெட்டி எடுக்கப்பட் டுள்ளன. ஒளிமூலங்கள் S, S_2 திரைகள் A_1, A_2 ஆகியவை படம் 11.11( )-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

இப்பொழுது S_1-லிருந்துவரும் ஒளியானது திரை A_1-ல் பட்டு எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் கண்ணருகு வில்லை E-ஐ அடைகின்றது. S_2-விலிருந்துவரும் ஒளி A_2 வில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் E-ஐ அடைகின்றது. A_2 சுழலும்பொழுது கண்ணருகு வில்லைக்கு நேராகத் திரையின் பரப்பு வந்தால் S_2-விலிருந்துவரும் ஒளியும் இரு பகுதிகளுக்கிடைப்பட்ட இடைவெளி வந்தால் S_1-ல் இருந்து A_1-ல் பட்டு எதிரொளிக்கும் ஒளியும் E-யை அடைகின்றன. எனவே A_1, A_2 இவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் ஒளி அடுத்தடுத்து E-ஐ அடைகின்றது. A_1, A_2 இரண்டும் சமமாக ஒளியூட்டம் பெற்றிருந்தால் இரண்டு நிறங்களுக்கிடையே மிக அதிகமான வேறுபாடு இருந்தாலும், குறைந்த சுழற்சி வேகங்களுக்கு எந்தவிதமான இமைத்தலும் (Flickering) தெரிவதில்லை. ஒளி இமைத்தல் இல்லாதபொழுது, ஒளியூட்டங்கள் சமம்.

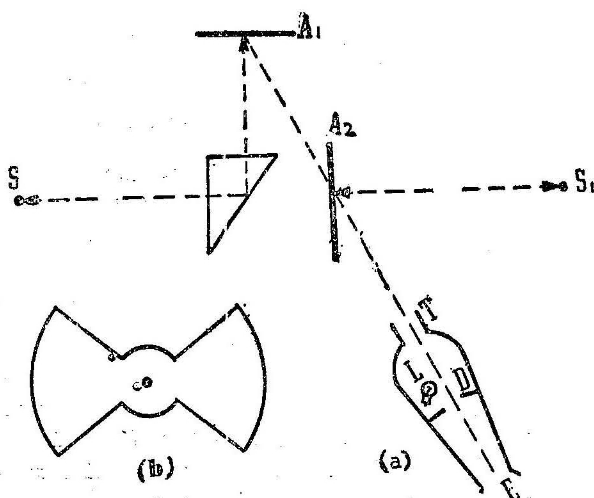
எனவே,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

பரப்புகளை வழவழப்பாக்கியும் அதிக அளவு ஒளியூட்டியும் துல்லியமான முடிவுகளைப் பெறலாம். ஒளி பொலிவான பின்னணியில் குறுகிய பார்வைப் புலத்தில் அளவீடுகளைச் செய்யின் இமைத்தல் இல்லாமல் அமைவதை எளிதாகத் தீர்மானிக்கலாம்.

11.16. கில்டு இமைத்தல் ஒளிமானி (Guild Flicker Photometer)

மக்னீசியம் ஆக்ஸைடு கொண்டு திரைகளின் பரப்புகளைப்



படம் 11.12 கில்டு இமைத்தல் ஒளிமானி

பூசியும், திரை A_2-வை படம் 11.12-ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒவ்வொரு பகுதியும் சரியாக இருக்குமாறும் நான்கு பகுதிகளாக்கி இரண்டை வெட்டி எடுத்து விட்டு, மீதி இரண்டைக் கொண்டு திரை A_2-வை அமைத்தும், கில்டு (Guild) என்பவர் இமைத்தல் ஒளிமானியில் மாற்றங்களைச் செய்தார். திரை A_2 ஒரு கிடை அச்சைப் பற்றி செங்குத்தாகச் சுழல்கின்றது மேலும் S_1-ல் இருந்து வரும் ஒளி, A_2-வின் மீது செங்குத்தாக விழுகின்றது. மேலும் S-ல் இருந்து வரும் ஒளியும் ஒழு முழு அக எதிரொளிப்புப் பட்டகத்தின் மூலம் திருப்பப்பட்டு, திரை A_1ன் மேல் செங்குத்தாக விழுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. இறுதியாகத் திரைகள் A_1, A_2 இவைகளில் இருந்து எதிரொளிக்கப் படும் ஒளி 45° கோணத்தில் குழாய் T-யின் மூலம் பார்க்கப் படுகின்றது. குழாய் T பார்வைப் புலத்தின் பரப்பை மிகவும் குறைக்க உதவுகின்றது. பார்வைப் புலத்தின் பின்னணி (Back ground) ஒரு அரைக்கோள வடிவத்தில் உள்ள L என்னும் விளக்கினால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. திரை A_2 ஒரு மின் மோட்டாரால் தேவையான வேகத்தில் சீரான வேகத்தில் சுழற்றப் படுகின்றது. ஒளிமூலம் S_1-ஐ நகர்த்தி இரண்டு ஒளி மூலங்களி லிருந்து வரும் ஒளியிலும் எவ்வித இமைத்தலும் இல்லாத அளவுக்கு செய்யப்படுகின்றது. இமைத்தல் இல்லாத நேரத்தில் திரை A_1-க்கும் ஒளிமூலம் S-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் r என்றும் திரை A_2-வுக்கும் ஒளிமூலம் S_1-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் r_1 என்றும் ஒளி மூலங்களின் ஒளிச் செறிவுகள் முறையே P, P_1 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{P} = \frac{r_1^2}{r^2} \qquad (1)$$

இப்பொழுது S-ன் பக்கம் உள்ள அமைப்பைச் சிறிதும் மாற்றாமல், S_1-உடன் ஒப்பிடவேண்டிய அடுத்த ஒளிமூலம் S_2 வை, S_1 இருந்த பக்கம் வைத்து, முன் போலவே, இமைத்தல் இல்லாமல் இருக்குமாறு S_2-வின் நிலையைச் சரிசெய்ய வேண்டும். இப்பொழுது S_2-க்கும், திரை A_2-க்கும் உள்ள தூரம் r_2 எனவும், S_2-வின் ஒளிச் செறிவு, P_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{P_2}{P} = \frac{r_2^2}{r^2} \qquad (2)$$

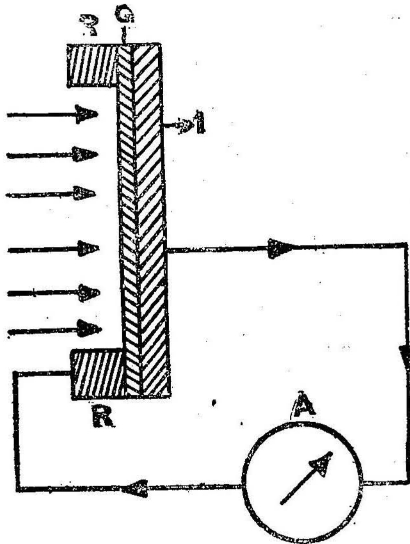
சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

எனவே படித்தர விளக்கு S-ஐக் கொண்டு, ஒளிமூலங்கள் S_1, S_2 இரண்டினுடைய ஒளிச்செறிவுகளை ஒப்பிடலாம்.

11.17. ஒளியூட்டத்தை அளக்கும் ஒளிமின் குமிழ்

ஒளியூட்டத்தை அளக்கும் மின்மானிகள் எளிதானவை. விரைவாகவும் செயல்படுபவை. ஆனால் அவைகளை அடிக்கடி



படம் 11.13 ஒளிமின் குமிழ் வேலைசெய்யும் விதம்

அளவீடு செய்யவேண்டும். இல்லாவிடில் அவைகள் கொடுக்கும் மதிப்புகள் சரியானவைகளாக இருக்காது. ஏனெனில் காலம் ஆக ஆக, ஒளிமின் குமிழ்களின் (Photo electric cell) உணர்நுட்பம் குறைந்து கொண்டே வரும்.

செலினியம் போன்ற ஒளிமின்பொருள் ஒளிமின் குமிழில் உள்ள இரும்புத் தகடொன்றின்மீது படலமாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. செலினியத்தின் மேல்பக்கம் மெல்லிய தங்க (Gold) அல்லது பிளாட்டின (Platinum) த் தகட்டால் மூடப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தங்க அல்லது பிளாட்டினத் தகட்டின் வழியாக ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும் அளவிற்கு அவை மென்படலங்களாக உள்ளன. எனவே ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளியானது செலினியத்தின் மேல்பட இயலும். ஒளியானது இந்த ஒளிமின் செல்லின்மீது பட்டவுடன், படும் ஒளியூட்டப் பாயத்தின் அளவைப் பொறுத்து ஒரு மின்னழுத்த விசை செலினியத்தின் மேற்பரப்பில் உண்டாக்கப் படுகின்றது. ஒளியாற்றல் மின் ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதினால் இம் மின்னழுத்த விசை உண்டாகின்றது.

ஒரு உலோக சேகரிக்கும் வளையம் R செல்லின் விளிம்பில் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இது ஒரு மின் வாயாகப் பயன் படுகின்றது. இரும்புத் தகடு I அடுத்த மின்வாயாகச் செயல் படுகின்றது. குமிழ் ஒளியூட்டப்படும்பொழுதெல்லாம் இந்த மின்வாய்கள், படம் 11.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி ஒரு மின் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டால், சுற்றில் மின் ஓட்டம் ஏற்படும். வழக்கமாக ஒரு மைக்ரோ அம்மீட்டர் (Micro Ammeter) A, சுற்றில் இணைக்கப்படும். இது நேரடியாக ஒளியூட்ட அலகுகளில் அளவீடு செய்யப்பட்டிருக்கும். அதிக அளவு ஒளியூட்டங்களை அளக்க வேண்டுமெனின் ஒரு மின் தடையை மீட்டருள் பக்க இணைப்புச் (Shunt) செய்து அளக்கலாம்.

11.18. ஒளிமின் குமிழ் ஒளி மானி

முன்பகுதியில் பார்த்த மின் குமிழைக் கொண்டு இரண்டு ஒளி மூலங்களின் ஒளிச் செறிவுகளை ஒப்பிடலாம்.

ஒரு படித்தர விளக்கை ஒளிமின் குமிழின் முன்னால் வைத்து, அதனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள மீட்டர் ஒரு முழு எண் மதிப்புக் கொண்ட ஒளியூட்ட மதிப்பைக்காட்டும் வரை விளக்கின் நிலையைச் சரிசெய்ய வேண்டும். குமிழில் இருந்து விளக்கு உள்ள தூரத்தை அளந்து கொள்ள வேண்டும். இதனை r_1 எனக் கொள்வோம். பின்னர் ஒப்பிடவேண்டிய அடுத்த விளக்கைக் குமிழின் முன்னால் வைத்து, மீட்டரில் முன்பு பார்த்த அதே அளவு மீண்டும் காட்டப் படும் வரை, விளக்கின் நிலையைச் சரிசெய்ய வேண்டும். எனவே இரண்டு ஒளியூட்டங்களும் சமமானவை. எனவே இரண்டாவது விளக்கிற்கும் குமிழுக்கும் இடைப்பட்ட தூரமான r_2-வை அளந்து கொள்ள வேண்டும். விளக்குகளின் ஒளிச் செறிவுகள் முறையே P_1, P_2 என்று கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

எனவே ஒளிச் செறிவுகளை எளிதில் ஒப்பிடலாம்.

11.19. ஒளிமூலத்தின் ஒளிவிளக்கத் திறன்:

கண்ணில் நிறங்கள் ஏற்படுத்தும் விளைவுகளைப்பற்றிப் படிக்கும் பொழுது (பகுதி 8.2) கொடுக்கப்பட்ட கதிர்வீச்சுத் திறனுக்கு பச்சை நிற ஒளிமூலம், ஊதா அல்லது சிகப்பு ஒளிமூலங்களைவிட அதிக மான ஒளிவிளக்கப் பாயத்தை (Luminous flux)க் கண்ணுக்குக்

கொடுக்கின்றது என்று பார்த்தோம். சில ஒளிமூலங்கள் ஆற்றலை வெளியிடுவதில் மற்றவைகளைவிடச் சிறந்தவைகளாக இருக்கின்றன. ஆனால் பெரும்பாலான ஒளிமூலங்கள் கொடுக்கப்படும் ஆற்றலை, ஒளி ஆற்றலுடன் வெப்ப ஆற்றலாகவும் மாற்றுகின்றன. அதாவது அவை புறச்சிகப்புக் கதிர்களைப் பெரிதும் வெளியிடுகின்றன. உதாரணமாக டங்ஸ்டன் இழை விளக்கில் கொடுக்கப்படும் மின் ஆற்றலில் 98% வெப்ப ஆற்றலை உண்டாக்கவும், 2% மட்டுமே ஒளி ஆற்றலினை உண்டாக்கவும் பயன்படுகின்றது. ஒளி மூலமொன்று கொடுக்கப்படும் ஆற்றலை ஒளிவிளக்கப் பாயமாக மாற்றும்பொழுது, ஏற்படும் வினைத்திறன் தான், ஒரு ஒளிமூலத்தின் ஒளிவிளக்கத் திறன் (Luminous efficiency) ஆகும்.

ஒளிமூலம் வெளியிடும் லூமென்களில் அளக்கப்படும் ஒளிவிளக்கப் பாயத்திற்கும், வாட்களில் அதற்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றலுக்குமான விகிதமே ஒளிவிளக்கத் திறனாகும்.

எனவே ஒளிவிளக்கத் திறன்

$$= \frac{\text{வெளியிடப்பட்ட ஒளிவிளக்கப் பாயம் (லூமென்களில்)}}{\text{எடுத்துக்கொண்ட திறன் (வாட்களில்)}}$$

இதற்கான அலகு லூமென்/வாட் ஆகும்.

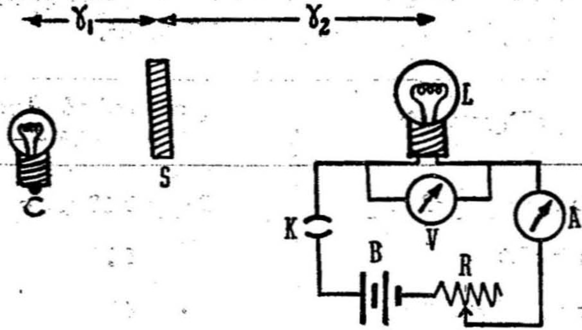
ஆப்பிள்-பச்சை நிறம் கொண்ட ஒளி தான் அதிகப்படியான உணர்திறனை கண்ணில் ஏற்படுத்துகின்றது. 1 வாட் திறனைக் கொண்டு கண்ணில் 660 லூமென் ஒளிப் பாயத்தை இந்நிற ஒளி ஏற்படுத்துகின்றது. எனவே 1 வாட் திறன் கொண்டு பெறக்கூடிய மிக அதிகமான ஒளிவிளக்கத்திறன் 660 லூமென்/வாட் ஆகும்.

நாம் பயன்படுத்தும் ஒளிமூலங்களில் இந்த அளவுக்குத் திறன் கொண்டது எதுவுமே இல்லை. ஏனெனில், அவை வெளியிடும் ஒளியெல்லாம் பச்சை நிறம் கொண்டவை அல்ல. மேலும் பெரும்பாலான ஆற்றல் வெப்பமாக மாற்றி வெளியிடப்படுகின்றது. பொதுவாக மின்னிறக்க விளக்குகள் (Discharge lamps) திறன் வாய்ந்த ஒளி மூலங்கள். எல்லாவற்றையும்விட சோடியம் ஆவி விளக்கு மிகவும் திறன் வாய்ந்தது. ஏனெனில், அது வெளியிடும் மஞ்சள் நிற ஒளி கண்ணின் உணர்திறன் மிக்க பகுதியான 5500 ஆ. அ. அலைநீளத்திற்கு வெகு அருகில் (5893 ஆ. அ.) அமைந்துள்ளது. ஆனால் அது வெளியிடும் ஒளியானது கண்ணுக்கு இன்பமானதாக இல்லை. மேலும் பார்க்கப்படும் பொருள்கள்

மஞ்சளாகவோ அல்லது கருமையாகவோதான் இருக்கு பாதரச ஆவி விளக்குகள் நாம் பயன்படுத்துபவைகள மிக்கவையாக உள்ளன.

11.20. மின் விளக்கொன்றின் திறனைத் தீர்மானித்தல் :

மின் விளக்கொன்றின் திறனைத் தீர்மானிக்க லம்மர்-பிராடன் ஒளிமானியைப் பயன்படுத்தலாம். மின் விளக்கானது, படம் 11.14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பாட்டரி B, முனைச்சாவி K, மின்தடை R, அம்மீட்டர் A ஆகியவைகளுடன் தொடர் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 11.14. மின்விளக்கொன்றின் திறனைக் காணல்

ஓல்ட்மீட்டர் V விளக்கின் மின்வாய்களுடன் பக்கச்சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. விளக்கு L ஆனது ஒளிமானியின் திரை S-க்கு ஒரு பக்கமும், மறுபக்கம் ஒரு படித்தர விளக்கு C-யும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. திரைக்கும் படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவை r_1 எனக் கொள்வோம். விளக்கு L-க்கும் திரைக்குமிடைப்பட்ட தொலைவை மாற்றியமைத்து, ஒளிமானியின் கண்ணருகு வில்லையின் பார்வைப் புலம் முழுவதும் சம ஒளியூட்டம் இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். இப்பொழுது திரைக்கும், விளக்கிற்குமான தூரத்தை r_2 எனக் கொள்வோம். விளக்கின் ஒளிவிளக்கச் செறிவு P எனில்,

$$P = \frac{r_2^2}{r_1^2} \text{ படித்தர வத்தியாகும்.}$$

இந்நிலையில் ஓல்ட்மீட்டர் அளவு V எனவும், அம் மீட்டர் அளவு A எனவும் கொள்வோம். எனவே விளக்கு எடுத்துக் கொள்ளும் திறன் $= VA$ வாட்கள் ஆகும்.

என்வே விளக்கின் ஒளிவிளக்கத் திறன்,

$$= \frac{P}{VA}$$

$$= \frac{r_2^2/r_1^2}{VA} \text{ வர்த்தித் திறன்/வாட்}$$

ஆகும். வெவ்வேறு மின் ஓட்டங்களுக்கு விளக்கினுடைய திறனைக் கணக்கிடலாம். ஆற்றலைப் பொறுத்து, விளக்கின் திறன் வேறுபடுதலை அறியலாம்.

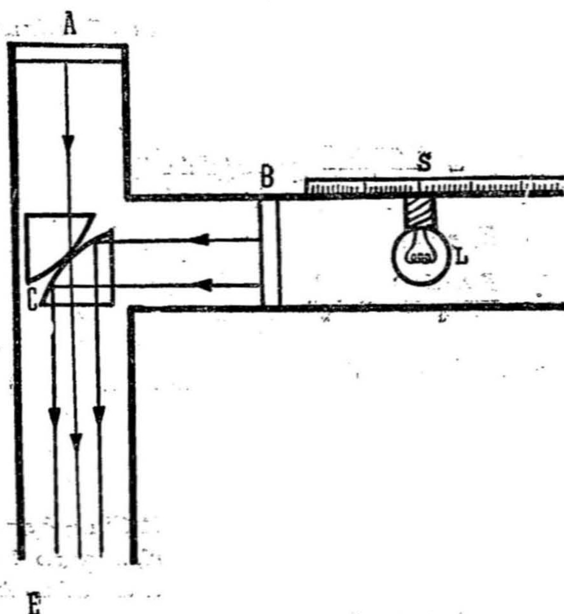
கீழே உள்ள அட்டவணையில் சில விளக்குகளும் அவைகளின் ஒளிவிளக்கத் திறன்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

ஒளி மூலங்கள்	ஒளிவிளக்கத் திறன் (லூமென்/வாட்)
டங்ஸ்டன் இழைவிளக்கு	8 முதல் 18 வரை
கார்பன் வில்	22
பாதரச ஆவி விளக்கு	40
ஒளிரும் குழாய் விளக்கு	30 முதல் 50 வரை
சோடியம் ஆவி விளக்கு	60 முதல் 75 வரை

11.21. ஒளியூட்ட அளவியல்மானிகள் (Illumination meters) :

ஒளியூட்டங்களை நேரடியாக அளப்பதற்குப் பயன்படும் கருவிகள் ஒளியூட்ட அளவியல்மானிகள் ஆகும். அவற்றுள் ஒன்று வெபரின் (Weber) ஒளியூட்ட மானியாகும்.

படம் 11.15-ல் உள்ளவாறு, அளவு செய்யவேண்டிய ஒளியூட்டத்திற்கான ஒளி, தேய்த்த கண்ணாடித்திரை A-யின் மூலம் லம்மர் பிராடன் கனச் சதுரப் பட்டகம் C-ஐ அடைகின்றது. அதில் விலகலடையாமல் நேராகக் கீழ் நோக்கிச் சென்று கண்ணை அடைகின்றது. L என்னும் விளக்கினால் மற்றொரு திரை B ஒளியூட்டப்படுகின்றது. அதிலிருந்தும் ஒளி C-ஐ அடைகின்றது. ஆனால் C-யில் அக எதிரொளிப்படைந்து 90° திசை திருப்பப்பட்டுக் கண்ணை அடைகின்றது. எனவே A-யின் மூலம் வந்த ஒளி பார்வைப்



படம் 11.15. வெபரின் ஒளியூட்டமானி

புலத்தின் மையப் பகுதியையும், B யின் மூலம் வந்த ஒளி விளிம்புப் பகுதியையும் ஒளியூட்டும். ஒளியூட்டங்கள் சம நிலையை அடையும் படி விளக்கு L-ஐ நகர்த்த முடியும். விளக்கு L-ஐ அளவுகோலொன் றின்மீது நகரும்படி அமைத்தால் ஒளியூட்டத்தை நேரடியாக அளவுகோலினின்று கண்டறியலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து 3 மீட்டர் தொலைவில் அமைந் துள்ள பரப்பொன்று ஒளியை நேர்க்குத்தாகப் பெறுகின்றது. பரப்பிற்கும் ஒளிமூலத்திற்குமிடைப்பட்ட தூரம் 2 மீ. ஆகுமாறு விளக்கைப் பரப்பை நோக்கி நகர்த்தினால், முதலில் இருந்த அளவே ஒளியூட்டம் ஏற்படுத்தப் பரப்பை எவ்வளவு கோணம் சுழற்ற வேண்டும்.

ஒளிமூலத்தின் ஒளிவிளக்கச் செறிவை P எனக் கொள்வோம். முதலில் ஒளியூட்டத்தை E_1 எனக் கொண்டால்,

$$E_1 = \frac{P}{3^2}$$

$$= \frac{P}{9} \text{ லூமன்/(மீட்டர்)}^2$$

இரண்டாவது நிலைக்கு ஒளியூட்டம் E_2 எனக் கொண்டால்,

$$E_2 = \frac{P \text{ காஸ் } \theta}{(2)^2}$$

$$= \frac{P \text{ காஸ் } \theta}{4} \text{ லூமன்/(மீட்டர்)}^2$$

ஆனால், $E_1 = E_2$

$$\therefore \quad \frac{P \text{ காஸ் } \theta}{4} = \frac{P}{9}$$

$$\therefore \quad \text{காஸ் } \theta = \frac{4}{9}$$

அல்லது $\theta = 63°36'$

2. இரண்டு விளக்குகள் முறையே 64,16 படித்தர வத்தித் திறன் கொண்டவை. அவைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் 1 மீட்டர். அவைகளுக்கிடையே எந்நிலையில் திரை வைக்கப்பட்டால், திரை சீரான ஒளியூட்டம் பெறும்?

16 படித்தர வத்தி திறன்கொண்ட ஒளிமூலத்திலிருந்து x தூரத்தில் திரை அமைவதாகக் கொள்வோம்.

$$\therefore \quad \frac{16}{x^2} = \frac{64}{(100 - x)^2}$$

$$64x^2 = 16x^2 + 160000 - 3200\, x$$

அதாவது $\quad 48x^2 - 3200x - 160000 = 0$

$$3x^2 - 200x - 10000 = 0$$

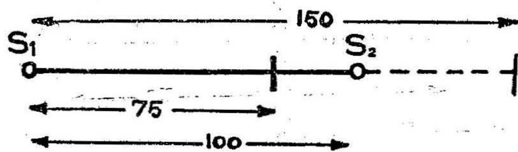
எனவே, x-க்கு இரு மதிப்புகள் கிடைக்கும்.

$$x_1 = 33\tfrac{1}{3} \text{ செ.மீ.}$$

அல்லது, $x_2 = -100$ செ.மீ.

எனவே, முதல் மதிப்பு x_1-லிருந்து திரையை, 16 வர்த்தித் திறன் கொண்ட விளக்கிலிருந்து $33\frac{1}{3}$ செ.மீ. தொலைவில், இரண்டு விளக்குகளுக்குமிடையில் வைக்கவேண்டும். x_2-வின் மதிப்பிலிருந்து, முதல் விளக்கிலிருந்து 100 செ.மீ. அல்லது இரண்டவாது விளக்கிலிருந்து 200 செ.மீ. தொலைவில் வைக்கவேண்டும்.

3. ஒளிமூலங்கள் S_1, S_2 இரண்டிற்குமிடைப்பட்ட தூரம் 100 செ.மீ. S_1-ன் ஒளிவிளக்கச் செறிவு, S_2-வின் ஒளிவிளக்கச் செறிவினைப் போன்று ஒன்பது மடங்கு. சீரான ஒளியூட்டம் பெறுமாறு, திரையொன்றை எந்த நிலையில் வைக்கலாம்?



படம் 11 16.

திரை வைக்கப்படும் நிலையிலிருந்து S_1, x தொலைவில் அமைந்துள்ளதாகக் கொள்வோம். எனவே S_2, $(100-x)$ தொலைவில் அமையும். S_2-வின் ஒளிவிளக்கச் செறிவு P-எனில், S_1-ன் ஒளிவிளக்கச் செறிவு 9 P ஆகும்.

$$\therefore \quad \frac{9P}{x^2} = \frac{P}{(100-x)^2}$$

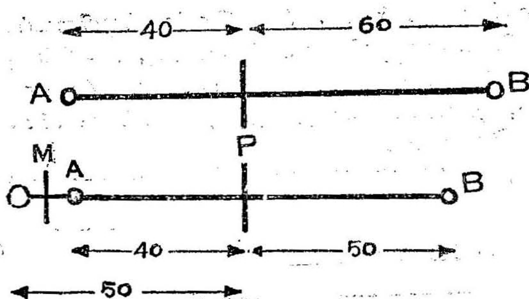
$$\frac{x^2}{(100-x)^2} = \frac{9}{1}$$

$$\therefore \quad \frac{x}{100-x} = \pm 3$$

நேர்க் குறியைக் கொண்டு கணக்கிட்டால் $x = 75$ செ.மீ.

எதிர்க் குறியைக் கொண்டு கணக்கிட்டால் $x = 150$ செ.மீ. எனவே ஒளிமூலம் S_1-லிருந்து, ஒளிமூலங்களுக்கிடையே 75 செ.மீ. தொலைவிலும், ஒளிமூலங்களுக்கு வெளியே S_1-லிருந்து 150 செ.மீ. தொலைவிலும் திரை அமையும்.

4. விளக்குகள் A, B இவைகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு 100 செ.மீ. A-யிலிருந்து 40 செ. மீ. தொலைவில் அமைக்கப்பட்டுள்ள திரையொன்றின்மீது அவை சம ஒளியூட்டங்களை ஏற்படுத்துகின்றன. A-யிலிருந்து பின்பக்கமாக 5 செ.மீ. தொலைவில் சமதள ஆடியொன்று வைக்கப்படுகின்றது. இதனால் மீண்டும் திரையில் சம ஒளியூட்டம் ஏற்படுத்த ஒளிமூலம் B-ஐ 10 செ.மீ., திரையை நோக்கி நகர்த்த வேண்டி இருக்கின்றது. சமதள ஆடியின் எதிரொளிக்கும் திறனைக் கணக்கிடுக.



படம் 11.17

சமதள ஆடி வைப்பதற்கு முன்னர் திரை S சம ஒளியூட்டம் பெற்றிருந்தது. திரையிலிருந்து A-யின் தூரம் 40 செமீ.

∴ திரையிலிருந்து B-யின் தூரம் $= 100 - 40 = 60$ செ.மீ.

A, B இவற்றின் ஒளிச்செறிவுகளை முறையே P_1, P_2 எனக் கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{(40)^2} = \frac{P_2}{(60)^2}$$

அல்லது $$P_2 = \frac{9}{4} \cdot P_1$$

சமதள ஆடியின் எதிரொளிப்புத் திறனை 'r' எனக் கொள்க. சமதள ஆடி வைக்கப்படுவதினால் A-யின் ஒளிச்செறிவு rP_1 அளவு கூடும். ஆனால் A-யானது திரையிலிருந்து 40 செ.மீ. தொலைவிலும், அதன் படிவம் திரையிலிருந்து 50 செ. மீ. தொலைவிலிருந்தும் திரையை ஒளியூட்டுகின்றன. இதனால் B முன்னோக்கி 10 செ. மீ. தொலைவு நகர்த்தப்படுகின்றது. எனவே B, திரையிலிருந்து 50 செ. மீ. தொலைவில் இருக்கும்.

$$\therefore \quad \frac{P_1}{(40)^2} + \frac{rP_1}{(50)^2} = \frac{P_2}{(50)^2}$$

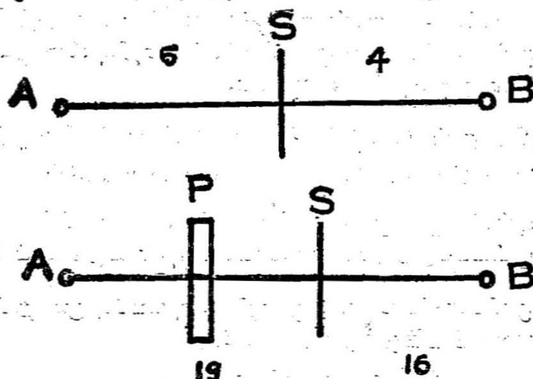
ஆனால்,

$$P_2 = \frac{9}{4} P_1$$

$$\therefore \quad \frac{P_1}{(40)^2} + \frac{rP_1}{(50)^2} = \frac{9}{4} \cdot \frac{P_1}{(50)^2}$$

P_1-ஐ நீக்கிச் சுருக்கினால், $r = 0{\cdot}69$ எனக் கிடைக்கும்.

5. மின்விளக்குகள் *A*, *B* இரண்டும் அவைகளுக்கிடையே 5:4 என்னும் தொலைவு விகிதத்தில் அமைக்கப்பட்டுள்ள திரையொன்றை சமமாக ஒளியூட்டுகின்றன. திரைக்கும் விளக்கு *A*-க்கும் இடையே கண்ணாடித் தகடு ஒன்று வைக்கப்பட்டால் தொலைவு விகிதம் 19:16 ஆகின்றது. கண்ணாடியின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியின் சதவீத அளவைக் கணக்கிடுக.



படம் 11.18.

ஒளிச்செறிவுகளை முறையே P_1, P_2 எனக் கொண்டால்,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{5^2}{4^2} \qquad (1)$$

கண்ணாடித் தகட்டின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியின் அளவு '*t*' எனில், *A*-க்கும் திரைக்குமிடையில் வைத்த பிறகு, கிடைக்கும் ஒளிச்செறிவு $\left(P_1 \cdot \frac{t}{100}\right)$ ஆகும்.

$$\frac{P_1 \cdot \frac{t}{100}}{P_2} = \frac{(19)^2}{(16)^2} \qquad (2)$$

சமன்பாடு (2)-ஐ, சமன்பாடு (1)-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{t}{100} = \frac{(19)^2}{(16)^2} \times \frac{(4)^2}{(5)^2}$$

$$\frac{t}{100} = 0{\cdot}9025$$

அல்லது $t = 90{\cdot}25\%$ ஆகும்.

எனவே கடத்தப்படும் ஒளி 90·25 சதவிகிமாகும்.

வினாக்கள்

1. ஒளியளவியலில் பயன்படும் அலகுகளைப்பற்றி எழுதவும்.

2. ஒளிமூலமொன்றின் ஒளிவிளக்கச் செறிவையும், புள்ளி ஒன்றில் ஏற்படும் ஒளியூட்டச் செறிவையும் விளக்குக.

   லம்மர்-பிராடன் ஒளிமானியைப் பயன்படுத்தி இரண்டு ஒளி மூலங்களின் ஒளிவிளக்கச் செறிவுகளை ஒப்பிடுதலைக் கொள்கையுடன் விளக்குக.

3. நிற ஒளி கொடுக்கும் இரு ஒளிமூலங்களை ஒப்பிடுவதற்கான ஒளி அளவுமானிகளைப்பற்றி எழுதுக.

4. புள்ளி ஒளிமூலமொன்றினல் சிறு பரப்பொன்று ஒளியூட்டப்படுதலுக்கான லாம்பெர்டின் விதிகளைப் பெறுக.

5. ஒளியளவியல்மானி ஒன்றின் அமைப்பு முறையின் அடிப்படைத் தத்துவத்தை விளக்குக.

   லம்மர்-பிராடன் ஒளிமானியை விவரித்து அது வேலை செய்யும் முறையை விளக்குக.

6. புன்சனின் கிரீஸ் பொட்டு அளவியல்மானியின் தத்துவத்தையும், வேலைசெய்யும் விதத்தையும் விளக்குக.
   ஒளிபுகுமொரு ஊடகத்தின், ஒளிகடத்துத் திறனை இதனைக்கொண்டு எவ்வாறு நிர்ணயிக்கலாம் என்று விளக்குக.

7. ஒளிமின் குமிழ் ஒளிமானியின் அமைப்பு முறைகளையும் செயல்படும் விதத்தினையும் விளக்குக.

8. சிறு குறிப்பு வரைக :—
   (1) ஒளிமின் குமிழ் ஒளிமானி
   (2) ஒளியூட்ட அளவுமானி

9. முறையே 100, 64 படித்தரவத்தி திறன்கொண்ட இரு மின்விளக்குகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் 90 செ. மீ. ஆகும். அவைகளுக்கிடையே எந்நிலையில் திரையினை வைத்தால் சம ஒளியூட்டம் ஏற்படும்?

   [விளக்குக்கிடையில் 100 *C. P.* விளக்கிலிருந்து 50 செ. மீ. (அல்லது) விளக்குகளுக்கு வெளியே 100 *C. P.* விளக்கிலிருந்து 450 செ. மீ.]

10. விளக்கொன்று 70 செ. மீ. தொலைவில் அமைந்திருக்கும் பொழுது ஒரு திரையை சீராக ஒளியூட்டுகின்றது. அடுத்து அவ்விளக்கினின்று நேரடியாக ஒளி திரையை அடையா வண்ணம் செய்து, ஆனால் அதன் நிலையிலிருந்து 10 செ. மீ. தொலைவில் சமதள ஆடி ஒன்று வைக்கப்பட்டு ஆடி எதிரொளிக்கும் ஒளியானது திரையை அடைகின்றது. விளக்கிற்கும் திரைக்குமிடைப்பட்ட தூரம் 30 செ. மீ எனில் ஆடியின் எதிரொளிப்பு சத வீதத்தைக் கணக்கிடுக. [32.6%]

11. விளக்குகள் A, B இரண்டும் முறையே 50 செ. மீ., 60 செ. மீ. தூரங்களில் அமையும்பொழுது அவற்றிற்கிடையேயுள்ள திரையொன்றைச் சமமாக ஒளியூட்டுகின்றன. A-க்குப் பின்னால் சமதள ஆடியொன்று 6 செ.மீ. தொலைவில் அமைக்கப்படுகின்றது. இதனால் ஒளிமூலம் B-ஆனது திரையை நோக்கி 10 செ. மீ. முன்னே நகர்த்தப்படுகின்றது. சமதள ஆடியின் எதிரொளிக்கும் திறனைக் கணக்கிடுக. [67.6%]

12. விளக்கொன்று திரையிலிருந்து 60 செ. மீ. தொலைவில் இருக்கும்பொழுது குறிப்பிட்டதொரு அளவுக்குத் திரையை ஒளியூட்டுகின்றது. விளக்குக்கும் திரைக்குமிடையே கண்ணாடித் தகடொன்றை வைத்த பின்னர், அதே அளவு ஒளியூட்டத்தை ஏற்படுத்த விளக்கை 10 செ. மீ. முன்னோக்கி நகர்த்தவேண்டியுள்ளது. கண்ணாடியின் ஒளிபுகு திறனைக் கணக்கிடுக. [69.44%]

12. ஒளியின் திசை வேகம்

12.1. முன்னுரை :

நெடுங் காலமாக, ஒளியின் திசை வேகத்தை அளக்கும் முயற்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன. கெப்ளர் (Kepler), டெஸ்கார்டஸ் (Dcscartes) போன்ற விஞ்ஞானிகள் ஒளியானது கணக்கிட முடியாத திசை வேகத்தில் பரவுகின்றது என்றும், பிரான்சிஸ் பேகன் (Francis Bacon), கலீலியோ போன்ற விஞ்ஞானிகள் ஒளியானது குறிப்பிட்டதொரு திசை வேகத்துடன் பரவுகின்றது என்றும், பலவிதக் கருத்துக்களைக் கொண்டிருந்தனர்.

ஒளியின் திசை வேகத்தை அளவிட முற்பட்ட முதல் விஞ்ஞானி கலீலியோ ஆவர். அவர் இரண்டு ஆராய்ச்சியாளர்களை இரண்டு மலைகளின் உச்சியில், மலைக்கு ஒருவராக நிறுத்தி வைத்தார். ஒவ்வொரு ஆய்வாளரிடமும் விரைவாகத் திறக்கவோ மூடவோ கூடிய அமைப்பு கொண்ட ஒளிமிக்க விளக்கு ஒன்று கொடுத்தார். முதல் ஆய்வாளர் தன் விளக்கைத் திறக்கும் நேரத்திலேயே ஒரு கடியாரத்தை ஓட விட்டார். இரண்டாவது ஆய்வாளர், முதல் ஆய்வாளரின் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளி கண்ணில் பட்டவுடன் அவரது விளக்கைத் திறந்தார். இரண்டாவது ஆய்வாளரின் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளி முதல் ஆய்வாளரின் கண்ணில் பட்டவுடன் அவர் கடியாரத்தை நிறுத்தினார். அப்பொழுது கடியாரம் பதிவுசெய்திருக்கும் காலம், ஒளி இரண்டு ஆய்வாளர்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை இருமுறை கடப்பதற்கு ஆன காலமாகும். எனவே இரு மடங்கு தூரத்தை ஆன காலத்தால் வகுக்க, ஒளியின் திசை வேகம் கிடைக்கும். ஆனால் இரண்டாவது ஆய்வாளர் அவரது விளக்கைத் திறப்பதற்கு ஆன காலம், முதல் ஆய்வாளர் காலத்தைப் பதிவு செய்வதில் ஏற்பட்ட தவறு இவை இரண்டும் ஒளி அந்த தூரத்தை இருமுறை கடப்பதற்கு ஆகும் காலத்தைவிட மிக அதிகமாகின்றது. எனவே இந்த முறையைக் கொண்டு ஒளியின் திசை வேகத்தைத் தீர்மானிக்க இயலவில்லை.

டேனிஷ் வானியல் விஞ்ஞானி ரோமர் (Roman) என்பவர் தான் முதல் முதலில் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடுவதில் வெற்றி கண்டார். அவர் வியாழனின் (Jupiter) துணைக்கோள்கள் ஏற்படுத்தும் கிரகணங்களுக்கு இடைப்பட்ட கால இடைவெளி களைக் கணக்கிட்டார். அந்த மதிப்புகளைக்கொண்டு, ஒளி மிகுதி யான ஆனால்குறிப்பிட்டதொரு திசை வேகத்துடன் பரவுகின்றது என்று நிறுவினர்.

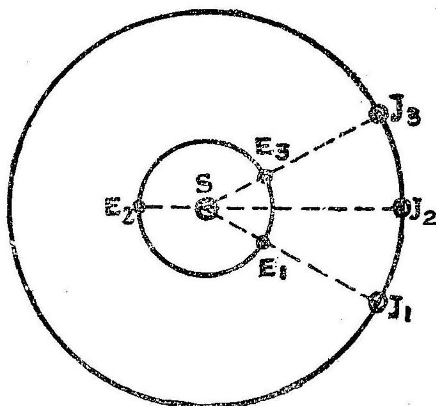
12.2. ரோமர் முறை (Romer's Method):

வானியல் வல்லுனர்கள் வியாழனுக்கு (Jupiter) ஐந்து துணைக் கோள்கள் (Satellites) உண்டு என்று கண்டு பிடித்தார்கள். இந்த துணைக்கோள்கள் ஒருமுறை வியாழனைச் சுற்றி வருவதற்கான காலங்கள், வியாழனுக்கு வெகு அருகில் உள்ள கோளுக்கு 11 மணி 58 நிமிடங்களும், வெளிப்பக்கம் மிக தொலைவில் உள்ளதற்கு 16 நாள், 16-மணி, 32 நிமிடம், 11 வினாடிகளும் ஆகின்றது. துணைக்கோள்களின் பாதைகள் ஏறக்குறைய வியாழன் சூரியனைச் சுற்றிவரும் பாதை (Crbit அமையும் தளத்திலேயே உள்ளன. இவைகள் தன்னொளி படைத்தவைகள் அல்ல. எனவே அவை வியாழனின் நிழலுக்குள் நுழையும்பொழுதெல்லாம், முறை யானகால இடைவெளிகளில், கிரகணத்தை உண்டாக்கு கின்றன.

ஒரு சுற்றுக்கு 42-மணி நேரம் எடுத்துக்கொள்ளும் வியாழ னுடைய ஒரு துணைக்கோளின் இயக்கத்தை ரோமர் (Romer) ஆராய்ந்தார். பூமியானது வியாழனிலிருந்து தள்ளிப் போகும் பொழுது துணைக்கோளின் இரண்டு கிரகணங்களுக்கு இடைப் பட்ட காலம் கூடுவதாகவும், பூமியானது வியாழனை நெருங்கி வரும் பொழுது, இரண்டு கிரகணங்களுக்கு இடைப்பட்ட காலம் குறைந்து கொண்டு வருவதாகவும் கணக்கிட்டார். இந்த வேறுபாடானது வியாழனின் துணைக்கோளில் இருந்து பூமிக்கு ஒளி வந்து சேருவ தற்கு ஆகும் கால வேறுபாட்டினாலேயே உண்டாகின்றது என்று கொண்டு ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டார்.

பூமியானது சூரியனை ஒருமுறை சுற்றிவர ஓராண்டு காலம் ஆகின்றது. வியாழன் சூரியனை ஒருமுறை சுற்றிவர 11.86 ஆண்டுகள் எடுத்துக் கொள்கின்றது. கணக்கீட்டு முறையை எளிதாக்குவதற்காக, வியாழன் பூமி இரண்டும் சூரியனைச் சுற்றி வரும் பாதைகள் வட்டமாகவும் ஒரே தளத்தில் இருப்பதாகவும் ரோமர் கொண்டார்.

[படத்தில் உள்ளதுபோன்று E_1, J_1, அல்லது E_3, J_3 நிலைகளில் பூமியும், வியாழனும் இருக்கும்பொழுது அண்மை நிலை



படம் 12.1. ரோமர் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் காணல்

(Conjunction) என்றும், E_2, J_2 நிலைகளில் குறிப்பிட்டுள்ளபடி இருந்தால் சேய்மைநிலை என்றும் (Opposition) கூறப்படும்.]

பூமி, வியாழன் இரண்டும் படம் 12.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று, முறையே E_1, J_1 நிலையில் இருந்தால் அவை அண்மை நிலை (Conjunction)-யில் உள்ளன எனப்படும். இந்நிலையில் வியாழனின் அருகில் அமையும் துணைக்கோளின் கிரகணம் ஏற்படுவதாகக் கொள்வோம். சூரியனை, வியாழன் சுற்றிவரும் வட்டப் பாதையின் ஆரம் R எனவும். பூமி சுற்றிவரும் வட்டப் பாதையின் ஆரம் 'r' எனவும் கொள்வோம். ஒளியின் திசைவேகம் c எனில், முதல் கிரகணம் ஏற்பட்டு $\frac{R-r}{c}$ காலம் கழித்துத் தான், பூமியின்மேல் இருக்கும் ஒருவருக்குக் கிரகணம் ஏற்பட்டது தெரியும். எனவே, $\frac{R-r}{c}$ காலம் கடந்துதான் காலத்தைக் கணக்கிடத் தொடங்குவார். பூமியானது அதனுடைய வட்டப் பாதையிலும் வியாழன் அதனுடைய வட்டப் பாதையிலும் சுற்றும்பொழுது ஏறத்தாழ 0.545 ஆண்டுகள் கழித்து அவை இரண்டும் முறையே E_2, J_2 இவற்றால் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் சேய்மை நிலை (Opposition)-யில் இருக்கும். இந்தக் காலத்தில் வியாழனின் துணைக்கோள் பல கிரகணங்களை ஏற்படுத்தியிருக்கும். பூமியானது E_2 நிலையில் இருக்கும்பொழுது $(n+1)$ ஆவது கிரகணம் ஏற்பட்டது எனக் கொள்வோம். எனவே, முதல் கிரகணத்துக்கும், $(n+1)$ ஆவது

கிரகணத்துக்கும் இடையே, அந்தத் துணைக்கோள் 'n' முறை வியாழனைச் சுற்றி வந்திருக்கும். ஒருமுறை சுற்றிவர ஆகும் காலம் T எனில் n முறை சுற்றிவர ஆகும் காலம் nT ஆகும். ஆனால் E_1 நிலையில் முதல் கிரகணத்தைப் பார்த்தவர், E_2 நிலையில் $n+1$ -வது கிரகணத்தைப் பார்க்கும்பொழுது, இடைப்பட்ட காலத்தை $\left(nT + \frac{R+r}{c}\right)$ எனப் பதிவு செய்வார். இதில் $\left(\frac{R+r}{c}\right)$, ஒளியானது J_2-யிலிருந்து E_2-வுக்கு வந்துசேர ஆகும் காலமாகும்.

எனவே, முதல் கிரகணத்தைப் பார்க்கும்பொழுது $\left(\frac{R-r}{c}\right)$ காலத்தை விட்டும், $(n+1)$ வது கிரகணத்தைப் பார்க்கும்பொழுது $\left(\frac{R+r}{c}\right)$ காலத்தைச் சேர்த்தும் கணக்கிடுவர். இப்படிக் கணக்கிட்ட காலம் 't_1' எனில், உண்மையில் முதல் கிரகணத்திற்கும், $(n+1)$ வது கிரகணத்திற்கும் ஆகியிருக்கும் காலம்,

$$nT = t_1 + \frac{R+r}{c} - \frac{R+r}{c}$$

$$= t_1 + \frac{R-r-R+r}{c}$$

$$= t_1 - \frac{2r}{c} \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது

$$t_1 = nT + \frac{2r}{c}. \qquad (1)$$

J_3, E_3 என்ற நிலைகளிலிருந்து பூமியும், வியாழனும் மீண்டும் 0.545 ஆண்டுக்குப் பின்னர் J_3, E_3 என்னும் அண்மை நிலைக்கு வருகின்றன. J_3, E_2 நிலையில் இருக்கும்பொழுது அந்தத் துணைக் கோளின் முதல் கிரகணம் ஏற்படுவதாகக் கொண்டால் J_3, E_3 நிலையிலிருக்கும்பொழுது $(n+1$ வது கிரகணம் ஏற்படும். இப்பொழுதும் முன்போலவே பூமியின்மீது இருக்கும் ஆராய்ச்சியாளர் முதல் கிரகணம் ஏற்பட்டு $\left(\frac{R+r}{c}\right)$ காலம் கடந்து தெரிவதால், $\left(\frac{R+r}{c}\right)$ அளவு காலத்தை விட்டு கணக்கிடத் தொடங்குவார்.

J_2, E_2 நிலையிலிருந்து, J_3, E_3 நிலைக்குச் செல்வதற்குள் கோள் n முறை சுற்றினால் உண்மையில் ஆகும் காலம் nT. ஆனால் $(n+1)$வது கிரகணத்தை ஆராய்ச்சியாளர் கவனிக்கும்பொழுது $\left(\frac{R-r}{c}\right)$ காலம் கூட்டித்தான் கணக்கிடுவார். முதல் கிரகணத்திற்கும், $(n-1)$வது கிரகணத்திற்கும் இடையே அவர் கணக்கிட்ட காலம் 't_2' எனில், உண்மையான காலம்,

$$nT = t_2 + \frac{R+r}{c} - \frac{R-r}{c}$$

$$= t_2 + \frac{R+r-R+r}{c}$$

$$= t_2 + \frac{2r}{c}$$

அதாவது

$$t_2 = nT - \frac{2r}{c} \qquad (2)$$

எனவே, ஒளி குறிப்பிட்ட திசை வேகத்துடன் பரவுகின்றது எனில், t_1-ஆனது t_2-வை விடப் பெரிதாக இருக்கும். இங்கு t_1, t_2 இவற்றை ஆய்வின் மூலம் கண்டால் c-யைக் கணக்கிடலாம். சமன்பாடுகள் (1), (2)-இவைகளிலிருந்து,

$$t_1 - t_2 = \frac{4r}{c}$$

அல்லது

$$c = \frac{4r}{t_1 - t_2} \qquad (3)$$

ரோமர் $(t_1 - t_2)$வின் மதிப்பு 1980 விநாடிகள் என்று கணக்கிட்டார். சூரியனைச் சுற்றிவரும் பூமியின் வட்டப் பாதையின் ஆரம் $r = 148.5 \times 10^6$ மீட்டர்கள் எனக்கொண்டு, ஒளியின் திசை வேகம் 3.01×10^8 மீட்டர்/விநாடி என்று கணக்கிட்டார்.

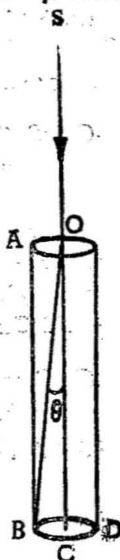
12.3. பிராட்லேயின் பிறழ்ச்சி முறை :

ரோமர் காலத்தில் வாழ்ந்த தத்துவ வல்லுனர்கள் அவரது கண்டுபிடிப்புக்கு எந்த விதமான மதிப்பும் தரவில்லை. ஏறக்குறைய ஐம்பது ஆண்டு கழித்து 1729-ல் பிராட்லே, (Bradley)

முழுவதும் வேறுபட்ட மற்ருெரு வானியல் முறையில் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கண்டு, ரோமரின் முடிவுகள் சரியானது என்று உறுதி செய்தார்.

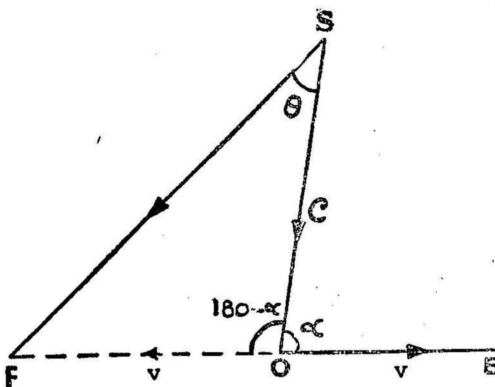
பூமியானது சூரியனைச் சுற்றி வருவதில் தன்னுடைய நிலையைத் தொடர்ந்து மாற்றிக்கொள்ளுகிறது. இதனல் நிலையான ஒரு விண்மீனின் ஏற்றக் கோணத்தில் (Angular elevation) சிறிதளவு மாறுபாடு உண்டாகின்றது என்று பிராட்லே தன்னுடைய வானியல் ஆய்வுகள் மூலம் கண்டறிந்தார். பூமியினுடைய திசை வேகத்துடன், ஒளியினுடைய திசைவேகமும் இருப்பதால் இந்த மாறுபாடு ஏற்படுகின்றது என்று முடிவு செய்தார்.

ஒரு நிலையான விண்மீன் S-ஐ நோக்கி வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு தொலைநோக்கியைக் கருதுக. தொலைநோக்கி நிலையாக இருந்தால் விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளி பொருளருகு வில்லை A-யின் வழியாக உட்புகுந்து அதன் அச்சு வழியாகக் கண்ணருகு வில்லைக்குச் செல்கின்றது. ஆனல் பூமி தன்னுடைய பாதையில் வினடிக்கு 30 மீட்டர் வேகத்தில் சுற்றுகின்றது எனவே தொலை நோக்கி நிலையாக இருக்காது. பொருளருகு வில்லையின் வழியாக நுழைந்த ஒளிக் கதிர் கண்ணருகு வில்லையை அடைய ஆகும் சிறிய கால இடைவெளியில் கண்ணருகு வில்லையின் C-என்னும் மையப் புள்ளி, D-என்னும் நிலையை அடைகின்றது. கண்ணருகு வில்லையின் மையப் புள்ளியில் அக் கதிர் படும்படி செய்ய மையப் புள்ளி B-என்னும் நிலையில் இருந்திருக்க வேண்டும். அப்பொழுது தான் ஒளிக்கதிர் O-விலிருந்து C-யை அடைவதற்கு ஆகும் காலத்தில் கண்ணருகு வில்லையின் மையப்புள்ளி B-யிலிருந்து C-க்குச் சென்றிருக்கும்.



படம் 12.2. பிராட்லேயின் பிறழ்ச்சி முறை

எனவே, தொலை நோக்கியை விண்மீனின் உண்மையான திசையை நோக்கி வைக்காமல் இயக்க திசைக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் சாய்த்து வைக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் விண்மீனின் படிவம், கண்ணருகு வில்லையின் மையத்தில் உண்டாகும். நட்சத்திரத்தின் உண்மையான திசையுடன் இச் சாய்நிலை ஏற்படுத்தும் கோணமே பிறழ்ச்சி எனப்படும்.



படம் 12.3.

படம் 12.3-ல் SO, OE முறையே ஒளியின் திசைவேகத்தையும் பூமியின் திசைவேகத்தையும், திசையிலும் எண் மதிப்பிலும் குறிப்பதாகக் கொள்வோம்.

தொலைநோக்கியின் திசைவேகத்தைச் சார்ந்த, ஒளியின் சார்புத்திசை வேகத்தை (Relative velocity), எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் SF குறிக்கும். எனவே விண்மீனின் படிவம் தொலை நோக்கியின் குறுக்கிழைக் கம்பிகளின் மையத்தில் ஏற்படத் தொலை நோக்கியை SO என்னும் உண்மையான திசைக்குப் பதிலாக SF என்னும் திசையில் வைக்க வேண்டும். கோணம் $FSO = \theta$ பிறழ்ச்சிக் கோணமாகும்.

இப்பொழுது கோணம் $\propto$ நட்சத்திரத்தின் உண்மையான திசையையும், c-ஒளியின் திசைவேகத்தையும், v-பூமியின் திசை வேகத்தையும் குறித்தால்,

$$\frac{SF}{\text{சைன் }(180-\propto)} = \frac{FO}{\text{சைன் }\theta}$$

$$\frac{SF}{\text{சைன் }\propto} = \frac{FO}{\text{சைன் }\theta}$$

அல்லது,

$$SF = FO\,\frac{\text{சைன் }\propto}{\text{சைன் }\theta}$$

ஆனால்,

$$SF = SO = c \text{ (சற்று ஏறக்குறைய)}$$

$$FO = OE = v$$

எனவே,

$$c = v. \frac{\text{சைன் } \alpha}{\text{சைன் } \theta}$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் θ-வின் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருக்க சைன் $\alpha = 1$ என்று இருக்க வேண்டும்.

எனவே,

$$c = \frac{v}{\text{சைன் } \theta} \text{ ஆகும்.}$$

θ-வைக் கணக்கிடல்

பூமியின் பாதை அமையும் தளத்திலேயே S-என்னும் விண்மீனின் பாதை அமைந்துள்ளது எனக் கொள்வோம். விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் பூமி E_1 நிலையில் இருக்கும்பொழுது

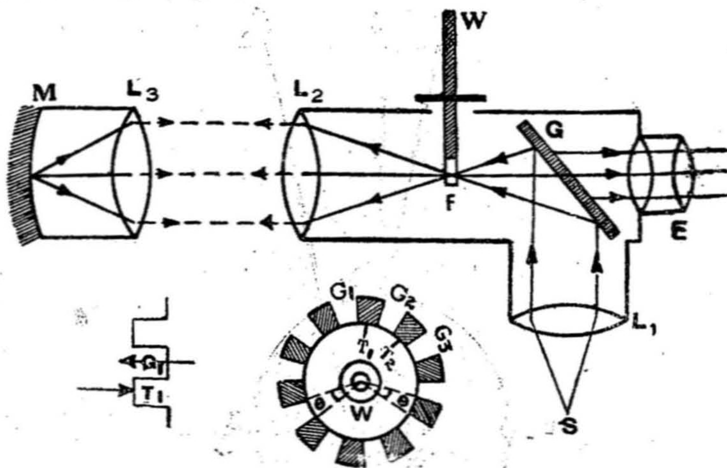
படம் 124.

அதன்மீது செங்குத்தாக விழும். E_1S-க்கு θ-கோணத்தில் உள்ள E_1S_1 திசையில்தான் விண்மீன் S-ஐப் பார்க்க முடியும். ஆறு மாதங்கள் கழித்து பூமி E_3-நிலையில் இருக்கும்பொழுது அதன் இயக்கம் எதிர்த் திசையில் அமைகின்றது. எனவே, E_3, S-க்கு மறுபக்கத்தில் θ-கோணத்தில் உள்ள E_3S_2 திசையில்தான் விண்

மீனைப் பார்க்க முடியும். எனவே, E_1, E_2 இரண்டு நிலைகளிலிருந்தும் விண்மீனைப் பார்க்கும் திசைகளுக்கு இடைப்பட்ட கோணம் 2θ ஆகும். பிராட்லே $\theta = 20 \cdot 5$ கலைகள் (வில்) எனக் கண்டு v-யின் மதிப்பை 30 மீட்டர்கள்/விநாடி எனக்கொண்டு c-யின் மதிப்பை 2,98,300 மீட்டர்கள்/விநாடி எனக் கணக்கிட்டார். பூமியின் திசை வேகத்தை சூரியனின் இடமாறு தோற்றப்பிழை முறையில் கணக்கிடுவதால் இது குறையற்ற ஒன்ருக அமையவில்லை. எனவே கணக்கிட்ட மதிப்பு தோராயமானதேயாகும்.

12.4. ஃபீசோவின் சுழலும் பற்சக்கரமுறை

1849-ல் ஃபீசோ என்னும் பிரெஞ்சு விஞ்ஞானி பூமியின் மேலுள்ள ஒரு அமைப்பைக் கொண்டு ஒளியின் திசைவேகத்தை முடிவு செய்தார். அவரது கருவியின் அமைப்பு படம் 12.5.-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 12.5. ஃபீசோவின் சுழலும் பற்சக்கர முறை

ஒளிமிக்கதொரு புள்ளி ஒளிமூலம் S-லிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்கள் L_1 என்னும் குவிவில்லையின் வழியாகச் செல்கின்றன. அப்பொழுது அவை குவிக்கப்பட்டு, 45° கோணத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும், G என்னும் கண்ணாடித் தகட்டின்மீது விழுகின்றன. கண்ணாடித் தகடு G, ஒரே சமயத்தில் எதிரொளிப்பையும் விலகலையும் ஏற்படுத்தக்கூடியவாறு ரசம் பூசப்பட்ட ஒன்ருகும். G-ல் படும் கதிர்கள் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர், ஒரு பற்சக்கரம் W-வின் விளிம்பில் உள்ள புள்ளி F-ல் குவிகின்றன. எனவே S-ன் படிவம் F-ல் உண்டாக்கப்படுகின்றது. இந்தப்

புள்ளி F குவிவில்லை L_2 வின் குவியத் தளத்தில் அமையுமாறு, L_2 வைக்கப்பட்டுள்ளது.

எனவே, F-லிருந்து L_2-வின்மேல் விழும் கதிர்கள் விலகலுக்குப் பின் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வெளியேறும். இந்த இணைக் கதிர்கள் சுமார் 4 அல்லது 5 மைல் தூரம் கடந்து பின்னர் L_3 என்னும் மற்ெருரு குவிவில்லையின்மீது விழும்படி செய்யப்படுகின்றன. வில்லை L_3 இக் கதிர்களை அதன் குவியத் தூரத்துக்குச் சமமான வளைவு ஆரத்தையும் அதனுடைய குவியத் தளத்திலும் வைக்கப்பட்டுள்ள M என்னும் குழி ஆடியின் ஆடி மையத்தில் குவிக்கின்றது. இதனால் ஒளிக்கதிர்கள் குழிஆடியின்மீது நேர்க்குத்தாக விழுகின்றது. எனவே ஒளிக்கதிர்கள் வந்த பாதையிலேயே திருப்பப்பட்டு மீண்டும் F-ல் குவிக்கப்படுகின்றன. இதனால் F-ல், S-னுடைய உண்மைப் படிவம் ஒன்று உண்டாகும். இப் படிவத்தைக் கண்ணருகு வில்லை E-ன் மூலமாகப் பார்க்க முடியும். கருவியின் பல பாகங்களையும் சரியான முறையில் அமைத்தல் மிக முக்கியமானதாகும். கண்ணருகு வில்லை E-யும், வில்லை L_2-வும் சேர்ந்து ஒரு வானியல் தொலைநோக்கிபோல் செயல்படுமாறு அமைக்கப்படவேண்டும். வில்லைகள் L_2, L_3 இவற்றின் முக்கிய அச்சுக்கள் ஒரே நேர்க்கோட்டில் அமைந்திருக்க வேண்டும்.

பற்சக்கரம் W-வின் விளிம்பில் சமமான எண்ணிக்கைகொண்ட பற்களும் இடைவெளிகளும் உள்ளன. மேலும் ஒரு பல்லின் அகலமும், இரு பற்களுக்கு இடையிலுள்ள திறந்த பகுதியின் அகலமும் சமமாக உள்ளன. வில்லைகள் L_2, L_3 இவற்றின் முக்கிய அச்சுக்கள் படியும் நேர்க்கோட்டிற்கு இணையான திசையில் அச்சைக்கொண்டு இப் பற்சக்கரம் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

பற்சக்கரம் ஒளிக் கற்றையை சிறு ஒளிச்சுடர்களாகப் பிரிப்பதற்கும், அப்படிப் பிரிக்கப்பட்ட சிறு ஒளிச் சுடர்கள் (Short light flashes) பற் சக்கரத்திலிருந்து குழிஆடி M-க்குச்சென்று மீள்வதற்கு ஆகும் காலத்தை அளப்பதற்கும் பயன்படுகின்றது. உதாரணமாக சக்கரம் சுழலாமல் இருக்கும்பொழுது, இடைவெளி G_1-ன் வழியாகச் சென்ற ஒளிக்கதிர்கள் M-க்குச் சென்று மீண்டும் F-க்கு வந்து உண்டாக்கும் S-ன் படிவத்தை, கண்ணருகு வில்லை E-யினுல் தெளிவாகப் பார்க்க முடியும். பின்னர் சக்கரம் மெதுவாகச் சுழற்றப்படுகின்றதென்று வைத்துக்கொள்வோம். படிவம் மறைவதும் தோன்றுவதுமாக இருக்கும். சுழலும் வேகத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே வந்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்திற்கு நிலையான படிவம் தோன்றும். உண்மையிலேயே படிவம் மறைவதும் தோன்றுவதுமாக இருக்கும். இவ்வாறு இருந்தபோதிலும் கண்

ணின் பார்வை நிலைப்பு (Persistance of Vision) காரணமாகத் தொடர்ந்து படிவம் தெரியும். வேகத்தை மேலும் அதிகரித்துக் கொண்டே வந்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் படிவமே தெரியாது. இந்த நிலையில் ஒரு இடைவெளி G_1-ன் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக் கதிர்கள் M-க்குச் சென்று திரும்பும்பொழுது பல் T-ஆல் தடுக்கப் படும். சக்கரம் சுழன்றுகொண்டிருப்பதால், இடைவெளி G-ன் நிலைக்கு, இடைவெளி G_1 வரும்போது அதன் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் திரும்ப வரும்பொழுது T_1-ஆல் தடுக்கப்படும். ஆக அந்த சக்கரச் சுழற்சியின் இவ்வேகத்தில் படிவம் தெரிவதில்லை. இந்த சக்கரச் சுழற்சி வேகம், முதல் மறைவு வேகம் (Speed of first disappearance) எனப்படும்.

இவ்வாறு படிவமே தோன்றாத நிலையில் சக்கரம் இடைவெளி G_1-ன் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியிலிருந்து. பல் T-ன்மேல் உள்ள ஒரு புள்ளிக்குச் சுழன்றுசெல்லும் நேரத்தில் ஒளி F-க்கும், M-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை இருமுறை கடக்கின்றது எனவே சக்கரத் தின் விளிம்பில் N இடைவெளிகளும், N பற்களும் இருக்கின்றன என்றும், சக்கரத்தின் மையத்தில் ஒரு இடைவெளியோ அல்லது ஒரு பல்லோ தாங்கும் கோணம் θ எனவும் கொண்டால்,

$$\theta = \frac{2\pi}{2N} \text{ ஆகும்.}$$

சக்கரம் விநாடிக்கு n சுற்றுகள் சுற்றுகின்றது என்றும், அதன் கோணத் திசைவேகம் ω-எனவும் கொள்வோம். சக்கரம் θ-கோணம் சுழலுவதற்கு ஆகும் காலம் 't' எனில்,

$$t = \frac{\theta}{\omega} = \frac{\theta}{2\pi n}$$

$$= \frac{2\pi}{2N} \times \frac{1}{2\pi n}$$

$$= \frac{1}{2nN} \qquad (1)$$

ஆனால் இந்தக் காலத்தில் ஒளி F-க்கும் M-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை இருமுறை கடக்கின்றது. எனவே அந்த தூரத்தை D என்றும், ஒளியின் திசை வேகத்தை c என்றும் கொண்டால்,

$$t = \frac{2D}{c} \qquad (2)$$

எனவே சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{1}{2Nn} = \frac{2D}{c}$$

$$\therefore \quad c = 4DNn \qquad (3)$$

மாறுநிலை வேகத்தையன்றி, மற்ற வேகங்களுக்கு M-ல் எதிரொளிப்பு அடைந்து திரும்பும் ஒளியில் ஒரு பகுதி கண்ணருகு வில்லையின் வழியாக வந்து பார்வைப் புலத்தில் கொஞ்சம் வெளிச்சத்தை உண்டாக்கும். எனவே வேகத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே வந்தால், மாறுநிலை வேகம் $\frac{2D}{c} = \frac{1}{2nN}$ என்ருகும் வரை, படிவம் ஒளி குன்றிக்கொண்டே வந்து மாறுநிலை வேகத்தில் மறைந்து விடும். மீண்டும் வேகம் அதிகரிக்கப்பட்டால், படிவம் மீண்டும் தோன்றி ஒளிமிக்கதாக ஆகும்.

சுழற்சி வேகம் '$2n$' என்ருகும்பொழுது. M-ஐ நோக்கி ஒரு இடைவெளியின் வழியாகச் சென்ற ஒளியானது, M-ல் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் F-ஐ அடையும்பொழுது அடுத்த இடைவெளி இருக்குமாதலால், பார்வைப்புலம் அதிக ஒளிச் செறிவைப் பெற்றிருக்கும். சுழற்சி வேகம் மேலும் அதிகரிக்கப்பட்டால், F-ல் உண்டாகும் படிவத்தின் ஒளிச்செறிவு மீண்டும் குறையும். வேகம் '$3n$' என்ருகும்பொழுது படிவம் மீண்டும் மறையும் இது இரண்டாவது மறைவு வேகம் ஆகும். எனவே ஒளி அந்தத் தூரத்தைக் கடக்க எடுத்துக் கொள்ளும் $\frac{2D}{c}$ காலத்தில் சக்கரம் $3\theta = 3.\frac{2\pi}{2N}$ கோணம் சுழற்சியடையும். எனவே சக்கரம் சுழலும் வேகம் விஞடிக்கு n_2 சுற்றுக்களெனில்,

$$\frac{2D}{c} = 3 \cdot \frac{2\pi}{2N} \cdot \frac{1}{2\pi n_2} = 3 \cdot \frac{1}{2Nn_2}$$

இவ்வாறு வேகத்தை அதிகரித்துக் கொண்டே சென்ருல் பல சுழற்சி வேகங்களுக்குப் படிவம் மறையும். பொதுவாக p யாவது மறைவுக்கு சுழற்சி வேகம் 'n_p' எனில்,

$$\frac{2D}{c} = (2p-1) \cdot \frac{1}{2N\,n_p}$$

ஃபீசோ தன்னுடைய சோதனையை 720 பற்களைக்கொண்ட சக்கரத்தையும், F-க்கும், M-க்கும் இடையேயான தூரத்தை 8.633 கி. மீ. என்றும் கொண்டு செய்தார். சக்கரத்தின் சுழற்சி வேகத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே செல்கையில், விஞடிக்கு 12.6

சுழற்சிகள் ஏற்படும்பொழுது, படிவம் முதல் முறையாக மறைந்தது. இந்த மதிப்புக்களைச் சமன்பாடு (3)-ல் இட, ஒளியின் திசைவேகம் 3.13×10^8 கி. மீ./வினாடி என்று கிடைத்தது.

ஃபீசோவின் முறையில் உள்ள நன்மைகள் :

(1) இந்த முறையில் உள்ள தத்துவம் மிகவும் எளிமையானது. அதோடு எளிதில் விளக்க முடியாத எந்தவிதமான தற்கோளையும் அடிப்படையாகக்கொண்டது அல்ல.

(2) இது ஒரு சார்பில்லா முறையாகும். ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட அளவிடவேண்டியது சக்கரத்தின் சுழற்சி வேகம் மட்டுமேயாகும்.

ஆனால் சில குறைபாடுகளும் உண்டு. அடுத்தடுத்து மறைவுகளுக்கான சுழற்சி வேகங்களைக் கணக்கிடுவது மிகவும் கடினமான தொன்றாகும். எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் மீண்டும் வந்து படிவத்தை உண்டாக்கும் ஒளியின் செறிவு குறைவாக உள்ளமையால் படிவம் மங்கலாகத் தோன்றுகின்றது. படிவம் மறைகின்ற நேரத்தில், பார்வைப்புலம் முழுவதும் இருள்மிக்க தொன்றாக இல்லாமல், பற்களினால் தடுக்கப்படும் ஒளிச் சிதறலினால் பார்வைப் புலம் ஒளியூட்டப்படுகின்றது.

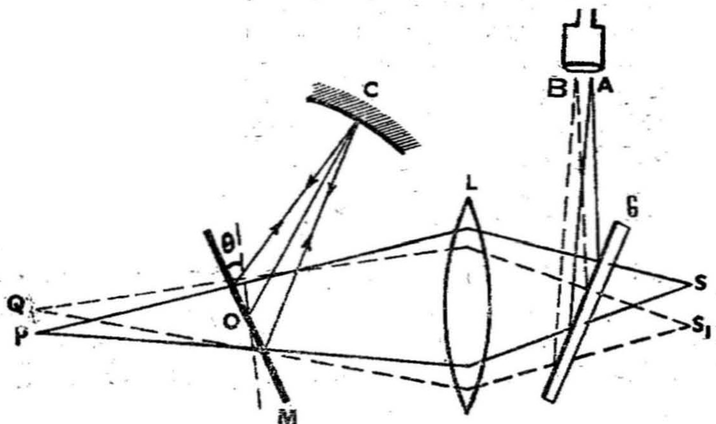
யங், போர்ப் (Forbe) இருவரும் பற்களைச் சமன்படுத்தியதோடு, கருமையாக்கி பற்சக்கரத்தின் அமைப்பைச் சரி செய்தார்கள். இதனால் பார்வைப் புலத்தில் தெரிந்த ஒளியின் அளவு வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டது. படிவத்தின் ஒளிச்செறிவைக் கூட்ட கண்ணாடித் தகடு G-க்குப் பதிலாக, ரசம் பூசப்பட்ட கண்ணாடியைப் பயன்படுத்தினார்கள். அதன் மையத்தில் படிவத்தைப் பார்ப்பதற்கு ரசம் பூசப்படாத ஒரு பாகம் விடப்பட்டது.

பின்னர் கார்னு (Cornu) E-க்கும், M-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை 23 கி. மீட்டராக அதிகப்படுத்தினார். மற்றும் படிவங்கள் மறையும்பொழுது உள்ள சுழற்சி வேகங்களைத் தீர்மானிப்பதற்கு பதிலாக, பார்வைப் புலத்தில் சம ஒளிச்செறிவுகள் இருக்கும் பொழுது சுழற்சி வேகங்களைக் கண்டு ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டார். அவர் கணக்கிட்ட ஒளியின் திசைவேகத்தின் மதிப்பு $c = 3{\cdot}004 \times 10^8$ கி. மீட்டர்/வினாடி ஆகும்.

12.5. ஃபோகால்ட்டின் சுழலும் ஆடிமுறை (Rotating mirror method)

வீட்ஸ்டனால் சொல்லப்பட்டு அரகோ (Arago) வினால் கையாளப்பட்ட சுழலும் ஆடிமுறை, ஒளியின் திசைவேகத்திற்கு

நல்ல முடிவுகளைத் தரத்தக்க வகையில் ஃபோகால்ட்டினுல் 1850-ஆம் ஆண்டு அமைக்கப்பட்டது அந்த அமைப்பு படம் 12.6.-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 12.6. ஃபோகால்ட்டின் சுழலும் ஆடிமுறை

நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லை L-க்கு முன்னல், சூரிய ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ள பிளவு S-வைக்கப்பட்டுள்ளது. பிளவு ஒளி மிக்கதொரு ஒளிமூலமாகச் செயல்படுகின்றது. பிளவிலிருந்துவரும் ஒளிக்கதிர்கள் குவியும் P-என்னும் புள்ளிக்கு முன்பாக ஒளிக் கதிர்கள் M-என்னும் சமதள ஆடியினுல் தடுக்கப்படுகின்றன. தடுக்கப்பட்ட ஒளிக்கதிர்கள் ஆடி M-ல் எதிரொளிப்பு அடைந்து C-யில் குவிகின்றன. இப்பொழுது எதிரொளிப்பு விதிகளின்படி, ஆடி மையம் O-விலிருந்து P-க்கு உள்ள தூரமும், C-க்கு உள்ள தூரமும் சமமாகும். அதாவது $OP = OC$. OC அளவுக்கு வளைவு ஆரம் கொண்ட ஒரு குழி ஆடி C-யில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆடி M-ன் மீதுள்ள புள்ளி O-வின் வழியாகச் செல்லும் அச்சின் மீது வளைவு மையம் அமையுமாறு குழி ஆடி வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனுல் ஆடி M-லிருந்து செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள் C-யில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் வந்த பாதையிலேயே மீண்டும் M-ஐ அடையும். எனவே ஆடி M-நிலையாக இருந்தால், S-லிருந்து புறப்பட்ட ஒரு ஒளிக்கதிர், வில்லை L-ன் வழியாக M-ஐ அடைந்து அதில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் C-க்குச் சென்று வந்த பாதை யிலேயே S-ஐ அடையும். எனவே S-ன் படிவம் S-லேயே அமையும். பதிலாக M-ல் எதிரொளிப்பு அடைந்த கதிர்கள் C-க்குச் சென்று மீள்வதற்குள், M-ஆனது θ-கோணம் சுழற்சி அடைந் தால், மீண்டும் M-ஐ அடையும் கதிர்கள் அதனுடைய சுழற்சித்

திசையில் திருப்பப்பட்டு, L-வழியாகச் சென்று, S-க்கு அருகாமையில் S_1 என்ற புள்ளியில் குவிக்கப்படும். அளவுகளை எடுப்பதற்கு வசதியாக இருப்பதற்காக, S-க்கும் L-க்குமிடையில் ஒரு கண்ணாடித் தகடு G, L-ன் முக்கிய அச்சுக்கு 45° கோணத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் M-நிலையாக இருக்கும்பொழுது S-ன் படிவம் A-யிலும் சுழலும்பொழுது படிவம் B-யிலும் உண்டாகும். எனவே $SS_1 = AB$. படிவம் அடையும் இடப்பெயர்ச்சி AB, திருத்த அளவி பொருத்தப்பட்டதொரு கண்ணருகு வில்லை E-யினால் அளக்கப்படுகின்றது.

ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடல்

ஒளியின் திசைவேகம் c-எனக் கொள்வோம். O-வுக்கும் C-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை R-எனவும், ஒளியானது O-விலிருந்து C-க்குச் சென்று மீண்டும் O-வுக்கு வருவதற்கு ஆகும் காலத்தை 't' எனவும் கொண்டால், ஒளியின் திசைவேகம்

$$c = \frac{2R}{t}$$

அல்லது

$$t = \frac{2R}{c} \tag{1}$$

ஆடி M, விநாடிக்கு n-சுற்றுக்கள் சுற்றுகிறது என்றால் காலம் t-யில் ஆடி θ-கோணம் சுழல்கின்றது எனக்கொள்வோம். விநாடிக்கு n சுற்றுக்கள் எனில் ஒரு விநாடியில் சுற்றும் கோண அளவு $2\pi n$. எனவே 1° கோணம் சுழல்வதற்கு ஆகும் காலம் $\frac{1}{2\pi n}$. எனவே θ கோணம் சுழல ஆகும் காலம்,

$$t = \frac{\theta}{2\pi n} \tag{2}$$

எனவே, சமன்பாடுகள் (1), (2) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{2R}{c} = \frac{\theta}{2\pi n}$$

அல்லது

$$c = \frac{4\pi Rn}{\theta} \tag{3}$$

θ-வின் மதிப்பைக் கணக்கிடுதல்

சுழலும் ஆடி M-ல் இரண்டாவது முறை எதிரொளிப்பு அடைந்து வந்த திசையிலேயே செல்லும் கதிர்கள், ஆடி நிலையாக இருக்கும்பொழுது P-யிலிருந்தும், ஆடி சுழலும்பொழுது Q-விலிருந்தும் வருவதாகத் தோன்றும் (படம் 12.7.).

படம் 12.7.

எனவே ஆடி θ கோணம் சுழற்றப்படும்பொழுது எதிரொளிப்புக் கதிர் சுழற்றப்படும் கோணம் $\angle POQ = 2\theta$.

ஆனல்,

$$\angle POQ = \frac{PQ}{OP} = \frac{PQ}{R} \; [\because \quad OP = OC = R]$$

$$\therefore \quad 2\theta = \frac{PQ}{R}$$

அல்லது,

$$\theta = \frac{PQ}{2R} \qquad (4)$$

மேலும் புள்ளி P-யானது L என்னும் வில்லையினல் உண்டாக்கப்பட்ட S-ன் படிவம் அமையுமிடமாகும். S_1 அதே வில்லையினல் உண்டாக்கப்பட்ட Q-வின் படிவம் அமையுமிடமாகும். எனவே PQ-வினலும், SS_1-னலும் வில்லையின் ஒளி மையத்தில் தாங்கப்படும் கோணங்கள் சமமாகும்.

எனவே,

$$\frac{PQ}{PL} = \frac{SS_1}{LS}$$

அல்லது

$$PQ = \frac{SS_1}{LS} \,.PL \qquad (5)$$

படத்தில்

$$SL = a;\; LO = b;\; SS_1 = AB = x$$

$PL = b + R$ எனில்,

$$PQ = \frac{b+R}{a} \,.\, x \qquad (6)$$

சமன்பாடு (4)-ல் இந்த மதிப்பை இட,

$$\theta = \frac{b+R}{2aR} \, x \qquad (7)$$

எனக் கிடைக்கும். சமன்பாடு (3)-ல் θ-வின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$c = \frac{4\pi n \cdot R}{(b+R).x} \,.\, 2\,aR.$$

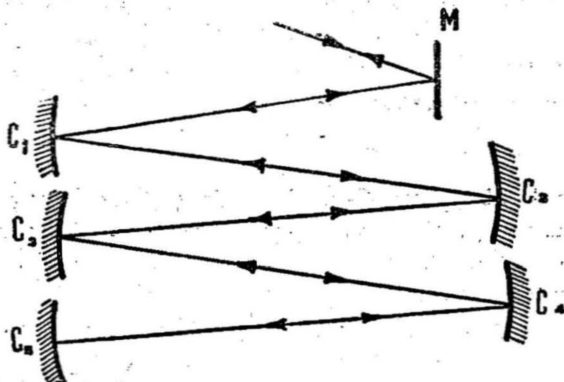
$$= \frac{8\,\pi a n R^2}{(b+R)\,x}$$

எனக் கிடைக்கும்.

தூரங்கள் a, b, R இவற்றை முன்கூட்டியே தெரிந்துகொண்டு, சோதனையின்பொழுது, கண்ணருகு வில்லையின் மூலம் இடப் பெயர்ச்சி x-ஐ அளந்து, ஒளியின் திசைவேகம் c கணக்கிடப் பட்டது. போகால்ட் ஒரு காற்று சுழற்சி டர்பைன் (Turbine) மூலம் ஆடி M-ஐ சீரான வேகத்தில் சுழலும்படிச் செய்தார். சுழற்சி வேகம் n-ஐ ஸ்ட்ராபாஸ்கோப் முறையில் கணித்தார். ஒளிகடந்த மொத்த தூரம் 40 மீட்டர் அளவு இருக்குமாறு அமைத்து அவர் கணக்கிட்ட ஒளியின் திசைவேக மதிப்பு $2{\cdot}98 \times 10^8$ மீ./வினாடி ஆகும்.

சோதனையின் உண்மையான அமைப்பில் குழி ஆடி C-யினுடைய உண்மையான வளைவு ஆரம் 4 மீட்டர் ஆகும். அதே அளவு வளைவு ஆரங்கள் கொண்ட மேலும் நான்கு குழிஆடிகளைப் பயன்

படுத்தி R-ன் மதிப்பு 20 மீட்டராக அதிகரிக்கப்பட்டது. படம் 12.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி அவ்வாடிகள் அமைக்கப்பட்டன.



படம் 12.8.

சுழலும் ஆடி M-ன்மீது விழுந்த கதிர்கள் C_1, C_2, C_3, C_4 ஆகிய நான்கு குழி ஆடிகளினாலும் எதிரொளிக்கப்பட்டு இறுதியாக C_5-ன் மேல் செங்குத்தாக விழுந்து வந்த திசையிலேயே மீண்டும் சென்று M-ஐ அடையும். சுமார் 1.9 மீட்டர் குவியதூரம் கொண்ட வில்லை L, சுழலும் ஆடி M-க்கும் நிலையான முதல் ஆடி C_1-க்கும் இடையே வைக்கப்பட்டுள்ளது. அவர் கணக்கிட்ட படிவ இடப் பெயர்ச்சி 0.7 மி.மீ. ஆகும்.

குறைபாடுகள்

(1) படிவம் அடையும் இடப் பெயர்ச்சி மிகவும் குறைவு.

(2) ஒளியானது C-யின்மீது விழும் காலம் மிகக் குறைவாக இருப்பதால் படிவம் ஒளிச்செறிவு மிக்கதாக இல்லை.

(3) M-ல் ஒளி எதிரொளிப்பு நடைபெறுவதால் கண்ணருகு வில்லையின் பார்வைப்புலத்தில் ஒளியூட்டம் இருந்து கொண்டே உள்ளது.

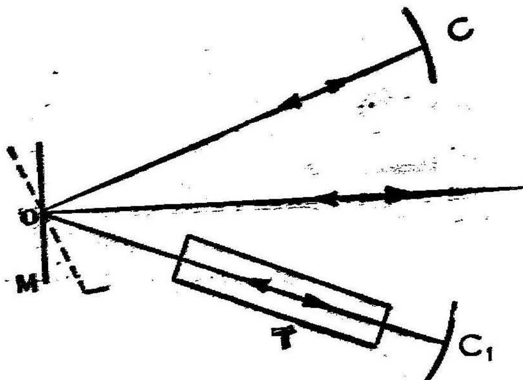
(4) இது சார்பிலா முறை அல்ல.

போகால்ட்டின் முறையை மேலும் நல்ல முறையில் மைக்கேல்சன், அமைத்தார். வில்லை L-ஐ, M-க்கும், C-க்கும் இடையில் வைத்தார். இதனால் ஒளிகடக்கும் தூரம் d, படிவத்தின் ஒளிச்செறிவில் எந்தவிதமான மாற்றமும் ஏற்படாமல் 2000 அடி ஆக அதிகரிக்கப்பட்டது. விட்டம் 8", குவியதூரம் 150 அடி (50 மீட்டர்)

கொண்ட வில்லையை உபயோகித்து, ஆடி M அதன் குவியத் தூரத்திற்குள் 5 மீட்டர் (15') உள்ளே இருக்குமாறு வைக்கப் பட்டுள்ளது. இதனால் படிவ இடப்பெயர்ச்சி சுமார் 0·133 மீட்டர் ஆக அதிகரித்துள்ளது. எனவே கண்ணாடித் தகடு G இல்லா மலேயே படிவத்தை S-க்கு அருகிலேயே ஏற்படுமாறு செய்து அளவுகளை எடுக்க முடிந்தது.

12.5. நீரில் ஒளியின் திசைவேகம்

போகால்ட் குழிஆடி C-யைப் போன்றுஅதே வளைவு ஆரத்தைக் கொண்ட மற்றொரு குழிஆடி C_1-ஐ அமைத்தார். பின்னர் C_1-க்கும் M-க்கும் இடையில் ஒரு குழாய் T-யில் நீரை நிரப்பி வைத்தார். C_1-ன் வளைவு மையமும், சுழல் ஆடி M-ன் மையத்தில் அமையு மாறு C_1-ன் நிலை சரி செய்யப்பட்டது. C, C_1-இவை இரண்டிலும்



படம் 12.9. நீரில் ஒளியின் திசைவேகம்

எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களால் உண்டாக்கப்படும் படிவங்கள், கண்ணருகு வில்லையினால் ஒரே நேரத்தில் பார்க்க முடியுமாறு அவை அமைக்கப்பட்டுள்ளன. நீரின் வழியாக சென்ற கதிர் களினால் உண்டாக்கப்பட்ட படிவம், காற்றில் மட்டுமே சென்ற கதிர்களினால் உண்டாக்கப்பட்ட படிவத்தைக் காட்டிலும் அதிகமாக இடப்பெயர்ச்சி அடைந்துள்ளதைக் கண்டார். இதனால் நீரில் ஒளியின் வேகம் காற்றில் அதன் வேகத்தைவிடக் குறைவு என்று தெரிகின்றது. சோதனையை மீண்டும் அதே மாதிரி அமைப்பு களைக்கொண்டு செய்த மைக்கேல்சன் காற்றில் திசைவேகத் திற்கும், நீரில் திசைவேகத்திற்கும் ஆன விகிதம் 1·33 என்று கணக்கிட்டார். இந்த மதிப்பு, நீரின் ஒளிவிலகல் எண்ணுடன் ஒத்த மதிப்பைக் கொண்டுள்ளது.

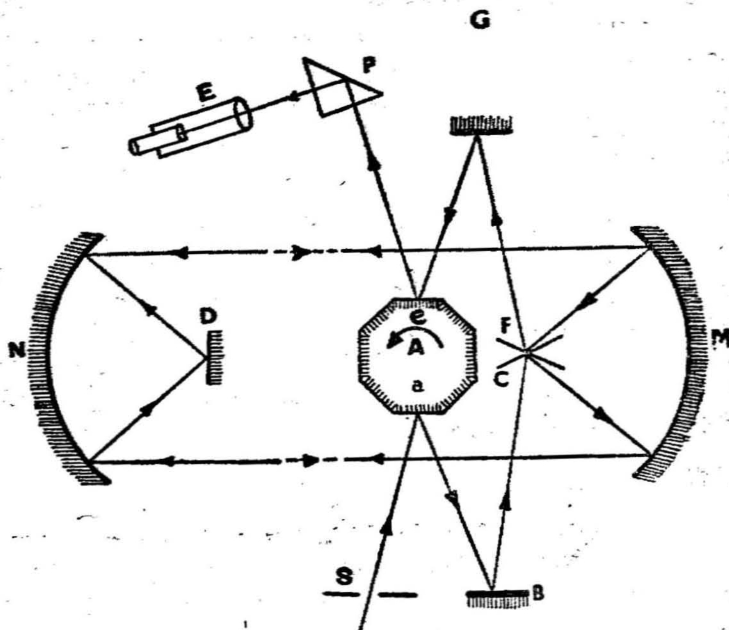
ஒளியின் பண்புகளைப்பற்றி ஆய்ந்த அறிஞர்கள் இரண்டு விதமான கொள்கைகளைக் கொடுத்துள்ளனர். அவற்றுள் ஒன்றான நியூட்டனின் துகட் கொள்கை, ஒளியானது அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்தில், அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தைவிட அதிக வேகமாகப் பரவுகின்றது என்ற முடிவைக் கொடுக்கின்றது. இரண்டாவது கொள்கையான ஹைஜயனின் அலைக் கொள்கை அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்தில் அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தைவிட மெதுவாகப் பரவுகின்றது என்ற முடிவைக் கொடுக்கின்றது. எனவே இரண்டு கொள்கைகளும் ஒன்றுக்கொன்று முரணானவைகளாக உள்ளன. எனவே எக்கொள்கை சிறந்தது என்று தீர்மானிக்கவேண்டிய நிலையில், போகால்ட்டின் முடிவு அலைக் கொள்கைக்கு ஆதரவாகவும், துகள் கொள்கைக்கு மரண அடியாகவும் அமைந்தது.

12.7. மைக்கேல்சனின் சார்பிலா முறை

போகால்ட்டின் சோதனையில் உள்ள சுழல் ஆடி, ஒளியானது M-லிருந்து C-க்குச் சென்று மீள்வதற்குள் ஒரு முழுச்சுற்று (அதாவது 360°) சுற்றுமாறு மிக வேகமாகச் சுற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். இம்மாதிரியான நிலையில் இறுதியாக உண்டாகும் படிவத்தில் எந்தவிதமான இடப்பெயர்ச்சியும் இருக்காது. ஆடி ஒரு முழுச்சுற்று சுற்றுவதற்கு ஆகும் காலத்தில் ஒளி $2d$ தூரம் கடக்கின்றது. ஆகையால் ஆடியின் சுழற்சிமட்டும் கொண்டு, ஒளியின் திசைவேகத்தை தீர்மானிக்கலாம். எனவே இது ஒரு சார்பிலா முறையாகும்.

மைக்கேல்சன் 1926-ல் தூரத்தை அதிகரித்தும், பல பக்கங்களைக் கொண்ட ஆடிகளைக் கொண்டும் சுழலும் ஆடி முறையை வெகுவாகத் திருத்தி அமைத்தார். அவரால் பயன் படுத்தப்பட்ட அமைப்பு படம் 12.10 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒளிமிக்கதொரு மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியால் S-என்னும் குறுகிய பிளவு ஒளியூட்டப்படுகின்றது. A-என்பது எட்டு எதிரொளிக்கும் பக்கங்களைக் கொண்ட ஆடி. இது எண்கரத்தின் (Octagon) அமைப்பைக் கொண்டது. இந்த எண்கரத்தின் மையத்தின் வழியாகவும், தாளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் உள்ள அச்சைக்கொண்டு சுழலுமாறு ஆடித் தொகுப்பு அமைக்கப் பட்டுள்ளது. பிளவு S-லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் ஆடியின் ஒரு பக்கமான 'a'-யின் மேல் விழுகின்றன. பக்கம் 'a'-ஆல் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளியானது அடுத்தடுத்து B, C என்னும் சமதள ஆடிகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு, M-என்னும் குழி ஆடிமீது



படம் 12.10 மைகேல்சனின் சுழலும் எண்முகப்பு ஆடிமுறை

விழுகின்றது. M-ல் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் கதிர்கள் இணையாக வெளியேறுமாறு. M-ன் குவியத்தில் இருக்குமாறு C அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அந்த இணையான கதிர்கள் வெகு தூரத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள மற்றொரு குழிஆடி N-ன் மீது விழுந்து, D-யில் குவிக்கப்படுகின்றன. குவியும் கதிர்கள் மீண்டும் N-ஐ நோக்கி எதிரொளிக்கப்படுமாறு சமதள ஆடி D வைக்கப்பட்டுள்ளது. N-ன் மேல் விழும் கதிர்கள் எதிரொளிப்பு அடைந்து மீண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக M-ஐ அடைகின்றன. குழிஆடி M, அந்தக் கதிர்களை F-ல் குவித்து, F-லிருந்து எதிரொளித்தக் கதிர்கள் சமதள ஆடி G-யின்மீது விழும்படி செய்யப்படுகின்றன. G-யிலிருந்து எதிரொளித்தக் கதிர்கள் எண்கர ஆடியின் 'a' என்ற பக்கத்தின் எதிரில் உள்ள 'e' என்னும் பக்கத்தின்மீது விழும்படிச் செய்யப்படுகின்றன. கதிர்கள் ஆடி e-ஆல் எதிரொளிக்கப்பட்டு அக எதிரொளிப்பை ஏற்படுத்தும் முப்பட்டகம் P-யின் வழியாகக் கண்ணருகு வில்லை E-யை அடைகின்றன. எனவே, S-ன் படிவம் E-ல் தோன்றும்.

எண்கர ஆடி A-நிலையாக இருக்கும்பொழுது S-ன் படிவம், E-ல் அதன் பார்வைப் புலத்தில் ஏதாவது ஒரு நிலையில் தெரியும். A சுழற்றப்பட்டால் படிவம் வேறு ஏதாவது இடத்தில்

தோன்றலாம் அல்லது தோன்ருமல் இருக்கலாம். இது முப்பட்டகம் P-க்கும், ஒளியை எதிரொளிக்கும் சுழல் ஆடியின் பக்கத்தின் நிலையையும் பொருத்தது. ஆனால் சுழல் ஆடியின் சுழற்சி வேகத்தைச் சரிசெய்து ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்திற்கு E-இல் ஏற்படும் படிவம், ஆடி A நிலையாக இருந்தபொழுது இருந்த நிலையி லேயே ஏற்படும்படிச் செய்யலாம்.

ஒளி கடக்கும் தூரம் $2D$ என்றும் ஒளியின் திசை வேகம் c என்றும் கொண்டால், காலம் $\frac{2D}{c}$-யில் எண்கர ஆடி 45° சுழலுமே யானல் படிவத்தின் நிலையில் இடப்பெயர்ச்சி இருக்காது. ஆடி விஞடிக்கு 'n' சுற்றுக்கள் சுற்றினல், 45° சுழலுவதற்கு ஆகும் காலம் $\frac{1}{8n}$. எனவே,

$$\frac{2D}{c} = \frac{1}{8n}$$

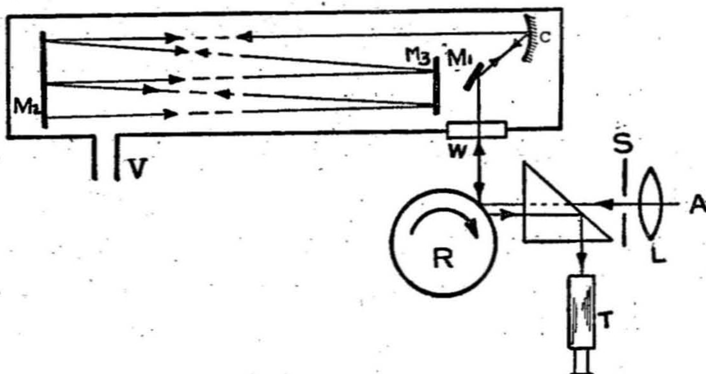
அதாவது $c = 16\,Dn$.

22 மைல்கள் இடைவெளி கொண்ட இரு மலைகளில் ஒன்ருன வில்சன் மலை (Mount Wilson) மீது ஆடி M-ஐயும், செயின்ட் அந்தோனியா மலை (Mount San Antonio) மீது ஆடி N-ஐயும் வைத்து மைக்கேல்சன் சோதனையைச் செய்தார். மேலும் 12, 16, பக்கங்கள் கொண்ட சுழல் ஆடிகளைப் பயன்படுத்தியும் சோதனை களைச் செய்தார். அவர் கணக்கிட்ட ஒளியின் திசை வேகம் 2,99 769$\pm$4 கி. மீ./விஞடி ஆகும். எளிய முறைகளில், ஒளியின் திசைவேகம் c-க்குக் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புகளில் இஃது மிகச் சிறந்த மதிப்பாகும்.

12.8. வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் :

காற்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணில் ஏற்படும் மாற்றங்களினல், ஒளியின் திசைவேகத்தில் சிறு வேறுபாடுகள் உண்டாகின்றன. மைக்கேல்சன் இந்த வேறுபாடுகளைத் தவிர்ப்பதற்காக பியர்சன் (Pearson) மற்றும் பீஸ் (Peace) ஆகியவர்களுடன் வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிட முயன்ருர். ஆனல் ஆய்வு களை அமைப்பின்மூலம் மேற்கொள்ளும் முன்னரே அவர் (1931-ல்) காலமடைந்தார். அவரது துணை ஆய்வாளர்களான பீஸ், பியர்சன் இருவரும் 1935-ல் வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிட்டனர்.

அவர்கள் மேற்கொண்ட அமைப்புப் படம் 12.11-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இஃது மைக்கேல்சனின் சுழலும் ஆடி முறையை ஒத்த அமைவுகளையே கொண்டதாகும்.



படம் 12.11. வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் காணல்

பொலிவுமிக்க கரிவில் (Carbon arc) விளக்கு A-யிலிருந்து வரும் ஒளி, வில்லை L-ன் மூலம், பிளவு S-ன்மேல் குவிக்கப் படுகின்றது. பிளவிலிருந்து செல்லும் குறுகிய ஒளிக்கற்றைப் பளபளப்பான 32 முகப்புகளைக்கொண்ட சுழலும் ஆடி R-ல் உள்ள ஏதாவதொரு முகப்பின் மேல் பக்கத்தில் விழும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. அம் முகப்பினால் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளி மேல்நோக்கிச் சென்று, நீண்ட குழாயின்மேல் பொருத் தப்பட்டுள்ள கண்ணாடித் தகடு W-வின் வழியாக ஆடி M_1 ஐ அடைகின்றது. ஆடிகள் M_1, C, M_2, M_3 ஆகியவைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளபடி, சுமார் 0.9 மீட்டர் விட்டமும் 1.6 கி. மீ. நீள மும் கொண்ட எஃகுக் குழாயினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. குழா யானது திறப்பு V-ன்மூலம் திறன்மிக்க வெற்றிட பம்பு ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டு, 0·5 மி. மீ. பாதரஸ அழுத்தத்திற்கும் குறைவான அழுத்தத்தில் காற்று அதனுள் இருக்கும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. இவ்வாறு வெற்றிடமாக்கப்பட்ட குழாயினுள் உள்ள M_1-ன் மேல் பட்ட ஒளியானது மீண்டும் குழிஆடி C-யில் திசை திருப்பப்பட்டு M_2-ஐ அடைகின்றது. ஆடிகள் M_2-வும் M_3-யும் ஒன்றுக்கொன்று சிறுகோண அளவில் சாய்ந்திருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளன. இத னால் பல எதிரொளிப்புகளுக்குப் பின்னர் ஒரு நிலையில் M_3-வின்மீது ஒளி நேர்க்குத்தாகப் படும். நேர்க்குத்தாக்கப்படுவதினால் திசை திருப்பப்பட்டு, மீண்டும் வந்த பாதையிலேயே C-ஐ அடையும். C-யில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, M_1-ஐ அடைந்து மீண்டும் W-வின் மூலம் சுழலும் ஆடி R-ஐ அடைகின்றது. இப்பொழுது R-லுள்ள

முகப்பொன்றில் கீழ்ப்பக்கமாக ஒளிபடும். அம் முகப்பினுல் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி, முழு அக் எதிரொளிப்பை ஏற்படுத்தும் பட்டகம், P-யினுல் மீண்டும் எதிரொளிக்கப்பட்டு தொலைநோக்கி T-ஐ அடையும். எனவே பிளவிலிருந்து செல்லும் ஒளி, T-யில் படிவத்தை ஏற்படுத்தும்.

ஆடிகள் M_2, M_3 இவைகளுக்கிடையே ஒளி அடையும் பன்முக எதிரொளிப்புகளால், ஒளியின் பாதை 13 கி. மீ. அளவுக்கு அதிகரிக்கின்றது.

ஆடி R-ன்மீதுள்ள முகப்பு ஒன்றில் பட்டுக்குழாயினுள் சென்ற ஒளி, மீண்டும் அதனை அடையும்பொழுது அடுத்த முகப்பில் படுமாறு, R சுழற்றப்படுகின்றது. இதனுல் ஆடி R நிலையாக இருக்கும்பொழுது தொலைநோக்கியில் படிவம் ஏற்பட்ட அதே நிலையில், ஆடி சுழலும்பொழுதும் படிவம் ஏற்படும். R-ன் ஒரு முகப்பில் படும் ஒளி, மீண்டும் R-ஐ அதே நிலையிலுள்ள மற்ருெரு முகப்பை அடைவதற்குள் கடந்த மொத்த தூரம் D என்றும், ஆன காலம் t என்றும் கொண்டால்,

$$\text{ஒளியின் திசைவேகம் } c = \frac{D}{t} \text{ ஆகும்.}$$

சுழலும் ஆடி விஞடிக்கு n சுற்றுக்கள் சுற்றினுல்,

$$t = \frac{1}{32n} \text{ ஆகும்.}$$

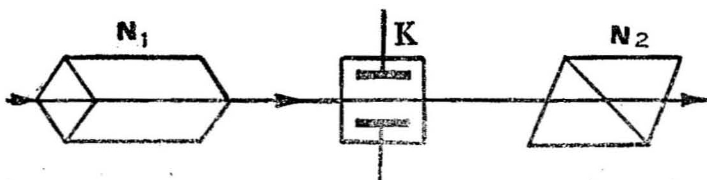
$$c = 32\,n\,D. \text{ ஆகும்.}$$

எனவே இம் முறையில் எடுத்த கிட்டத்தட்ட மூன்ருயிரம் அளவுகளைக்கொண்டு கணக்கிட்ட ஒளியின் சராசரி திசைவேகம் $2{,}99{,}774 \pm 11$ கி. மீ./விஞடி ஆகும்,

12.9. கெர்சிமிழ் முறை :

ஃபீசோவின் பற்சக்கர அமைப்பின் அடிப்படைகளையே கொண்டு, கரோலஸ் மற்றும் மிட்டல்ஸ்டெட் (Karolus and Mittelstaedt) இருவரும் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடப் பயன்படுத்திய முறை கெர்சிமிழ் முறை (Kerr cell method) ஆகும். இம்முறையில் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் (Polarised light) பண்புகளையும், கெர்சிமிழ் வேலைசெய்யும் விதத்தையும் கொண்டு அமைப்புகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. மேலும் ஒளியானது குறைந்த தூரப் பாதையில் மட்டுமே செல்லுமாறு செய்யப்பட்டு, திசைவேகத்திற்குத் துல்லியமான மதிப்பு கணக்கிடப்பட்டது.

மின் ஒளித் தடுப்பாணை (Electro-optical shelter) கெர்சிமிழ் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. கெர்சிமிழ் வேலைசெய்யும் விதத்தைப் படம் 12.12-ல் உள்ள அமைப்பைக்கொண்டு தெளிவாக விளக்கலாம்.

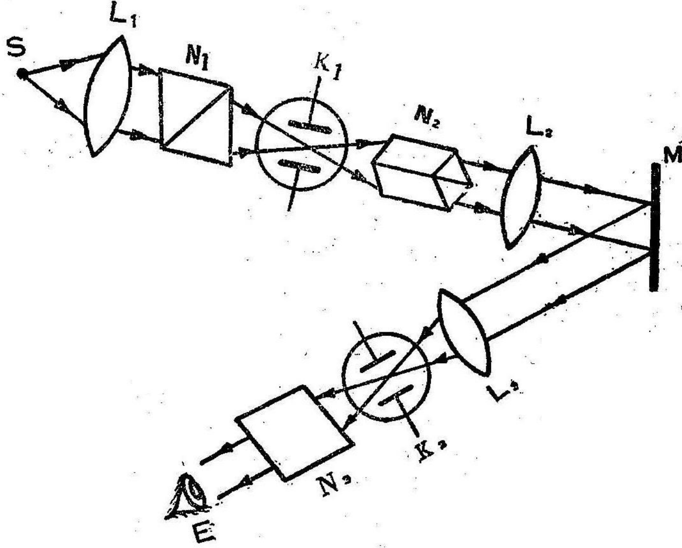


படம் 12.12. கெர்சிமிழ் வேலைசெய்யும் முறை

கெர்சிமிழானது இரண்டு மின்வாய்கள் (Electrodes) பொருத்தப்பட்டுள்ளதொரு கண்ணடிக் கலமாகும். இக் கலத்தினுள் நைட்ரோ பென்சின் (Nitro Benzene) என்னும் திரவம் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இச் சிமிழானது ஒன்றுக்கொன்று குறுக்கு நிலையாக அமைந்துள்ள நைக்கல் பட்டகங்கள் (Nicol prisms) N_1, N_2 இவற்றிற்கிடையே வைக்கப்பட்டுள்ளது [நைக்கல் பட்டகமென்பது தளவிளைவுற்ற ஒளியை உண்டாக்கவும், தளவிளைவுற்ற ஒளியினை ஆயவும் பயன்படுவது. இதனைப்பற்றி "தளவிளைவு" அத்தியாயத்தில் விரிவாகப் படிக்க உள்ளோம்.] நைக்கல் N_1-வழியாக வரும்பொழுது சாதாரண ஒளி தளவிளைவுற்றதாக் செய்யப்படும். இத் தள விளைவுற்ற ஒளி கெர்சிமிழின் மீது நேர்க்குத்தாகப் படும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. கெர்சிமிழின் மின்வாய்களுக்கிடையே உயர்மின்னழுத்த வேறுபாடு (Potential difference) ஏற்படுத்தும்பொழுது மட்டும், படும் தளவிளைவு அடைந்த ஒளி கடத்தப்படும். மின்னழுத்த வேறுபாடு ஏற்படாத நேரத்தில் கடத்தப்படாது. ஏனெனில் மின்னழுத்த வேறுபாடு இருக்கும்பொழுது மட்டும் நைட்ரோ பென்சின் திரவம் இரட்டை ஒளிவிலக்கம் Double refraction ஏற்படுத்துவதாக அமைகின்றது இதனால் ஒளியானது நைக்கல் N_2-வின் வழியாகச் செல்ல இயலும். இவ்வாறு மின்னழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுத்தும்பொழுதுமட்டும் ஒளியை விடுத்தும், மின்னழுத்தம் இல்லா நேரத்தில் தடுத்தும் செயல்படுவதால் கெர்சிமிழ் திறன்மிக்க மின்-ஒளிதடுப்பாணைப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. மேலும் இதனைக்கொண்டு வினாடிக்குப் பல மில்லியன் (Million) முறைகள் ஒளியினைத் தடுக்க முடிகின்றது.

கரோலஸ், மிட்டல்ஸ்டெட்டின் அமைப்பு முறைகள் படம் 12.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

S-என்னும் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி, வில்லை L_1 மூலம் நைக்கல் N_1-ன் மேல் படும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. N_1-ல் வெளிபடும் ஒளி தளவிளைவுற்றதாக உள்ளது. இந்த ஒளி



படம் 12.13. கெர்சிமிழ் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் காணல்

கெர்சிமிழ் K_1-ன் மேல் நேர்க்குத்தாக விழும்படிச் செய்யப்பட்டுள்ளது. K-ன் மூலம் கடத்தப்படும் ஒளி N_2-வின் வழியாகச் சென்று வில்லை L_2-வினுல் இணையாக்கப்பட்டு, ஆடி M-ன் மேல் விழுகின்றது. ஆடி M-ல் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளி, வில்லை L_3-ஆல் குவிக்கப்பட்டு இரண்டாவது கெர்சிமிழ் K_2-வின் மேல் நேர்க்குத்தாக விழும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. K_2-வினுல் கடத்தப்படும் ஒளியானது, நைக்கல் N_2-க்கு குறுக்கு நிலையாக வைக்கப்பட்டுள்ள நைக்கல் N_3-ன் வழியாகக் கண்ணை அடைகின்றது.

கெர்சிமிழ் K_1, K_2 இரண்டின் மின்வாய்களுக்கிடையேயும் ரேடியோ அதிர்வு எண்களை உண்டாக்கும் அலையியற்றி (Oscillator) ஒன்றினுல் ஏற்படுத்தப்படும் மிக அதிகமான அதிர்வெண் கொண்ட மாறுமின்னழுத்தம் (Alternating voltage) செயல்படுமாறு செய்யப்படுகின்றது. கெர்சிமிழ்களில் ஏற்படும் மின்புலங்கள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தாக இருக்குமாறும் அமைக்கப் பட்டுள்ளன.

செயல்படும் முறை

மின்வாய்களுக்கிடையே கெர்சிமிழ்கள் K_1, K_2 இரண்டும் கட்ட (Phase) வேறுபாடற்ற மிகு அதிர்வெண் கொண்ட மின்னழுத்தத்தின் பெரும மதிப்புக்களும் சிறும மதிப்புக்களும் அவற்றில் ஒரே நேரத்தில் ஏற்படுமாறு, அலையியற்றி (Oscillator) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் இரண்டும் விரைவாக மூடித் திறக்கும் இரண்டு ஒளித்தடுப்பான்களாகச் செயல்படும். N_1-லிருந்து வரும் ஒளியானது K_1-ல் பெரும மின்னழுத்த வேறுபாடு இருக்கும்பொழுது கடத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். கடத்தப்படும் ஒளியானது நீள்வட்ட தளவிளைவு (Elliptical polarisataion) அடைவதாக இருக்கும். இவ்வொளி N_2-ன் வழியாகச் சென்று M-ல் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் K_2-வை அடையும். ஆனால் ஒளியானது $K_1MK_2 = d$ தொலைவு கடப்பதற்கு ஆகும் காலத்தில், K_2-வினால் தடுக்கப்படும். எனவே, பார்வைப் புலத்தில் ஒளி ஏற்படாது.

எனவே, ஃபீசோவின் முறையுடன் ஒப்பிடும்பொழுது, N_1, K, N_2 மூன்றும் இரு பற்களுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளி போன்றும், N_2, K_2, N_3 மூன்றும் பற்சக்கரத்தில் உள்ள பல் ஒன்றைப் போலவும் செயல்படுவது தெளிவு.

அலையியற்றி வினாடிக்கு ஏற்படுத்தும் அலைவுகள் f-எனில், ஒளி d தூரத்தைக் கடப்பதற்கு ஆகும் காலத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். K_1-ல் பெரும மின்னழுத்தம் இருக்கும்பொழுது ஒளிக் கடத்தப்படுகின்றது. K_2-ல் சிறும மின்னழுத்தம் ஏற்படும்பொழுது தடுக்கப்படுகின்றது. மேலும் மின்புலங்கள் நேர்க்குத்தாக உள்ளமையால் K_1-ல் நீள்வட்ட தளவிளைவுற்ற ஒளி மீண்டும் தளவிளைவுற்றதாகச் செய்யப்படும். அலையியற்றியில் ஏற்படும் ஓரதிர்வுக்கு, இரண்டு பெருமங்களும் இரண்டு சிறுமங்களும் உள்ளன. எனவே பெருமத்திலிருந்து சிறுமத்திற்கு மின்னழுத்தம் மாறுவதற்கு ஆகும் காலம், ஓரதிர்வுக்கு ஆகும் காலத்தில் நான்கில் ஒரு பாகமாகும். எனவே d-தூரத்தை ஒளி கடக்க ஆகும் காலம் 't'-எனில், $t = \frac{1}{4f}$ ஆகும்.

எனவே ஒளியின் திசைவேகம் c-எனில்,

$$c = \frac{d}{t}$$

$$= d \frac{1}{\frac{1}{4f}}$$

$$= 4fd.$$

அலையியற்றி ஏற்படுத்தும் f-ன் அளவை விஞடிக்கு 3×10^6 அதிர்வுகள் இருக்குமாறு கொண்டு, தீர்மானித்த ஒளியின் திசை வேக மதிப்பு, விஞடிக்கு 2,99,778 கி. மீ. ஆகும்.

இம்முறையின் சிறப்புகள்

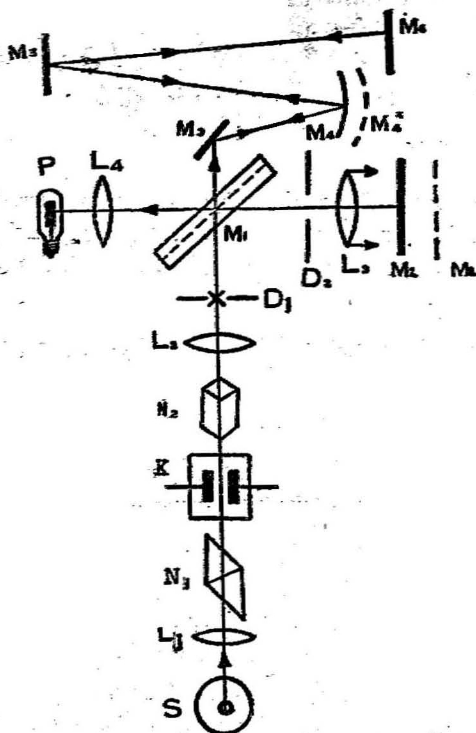
(1) மிகு அதிர்வெண்கொண்ட அமைப்பு பயன்படுத்திஞல் ஒளியினை, பற்சக்கர முறையைவிட பல நூறு மடங்கு முறைகள் தடுக்க இயலும். எனவே குறுகிய இடைவெளியில் அமைப்புகளை வைக்க இயலும்.

(2) ஆய்வுக் கூடங்களில்கூட இந்த அளவுகளைச் செய்ய இயலும்.

(3) அலையியற்றி, விஞடிக்கு ஏற்படுத்தும் அதிர்வுகளைத் துல்லியமாக அளக்க இயலுமாதலால், தூரம் d-ஐ மட்டும் துல்லியமாக அளந்து ஒளியின் திசைவேகத்திற்குச் சிறந்த மதிப்புகளைக் கணக்கிட முடியும்.

12.10. ஆன்டர்சன் முறை

ஆன்டர்சன் பயன்படுத்திய அமைப்பு முறைகள் படம் 12.14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. அவர் ஒரு கெர்சிமிழை மட்டும் பயன்படுத்தி ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டார். 1000 வாட் திறன் கொண்ட பாதரச ஆவி விளக்கு S ஒளிமூலமாகப் பயன்படுத்தப் பட்டது. ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியானது வில்லை L_1-ஆல் இணையாக்கப்பட்டு அனுப்பப்படுகின்றது. இணைக்கற்றை நைக்கல் பட்டகம் N_1-ன் மூலம் சென்று தளவிளைவுற்று கெர்சிமிழ் K_1-ன் மேல் படும்படிச் செய்யப்படுகின்றது. K-ஆல் கடத்தப்படும் ஒளி நைக்கல் பட்டகம் N_2-மூலம் சென்று L_2-விஞல் துளைத்திரை (Diaphragm) D_1-ன் மேல் குவிக்கப்படுகின்றது. பின்னர், ஒளியானது பகுதி இரசம் பூசப்பட்ட (Semi-Silvered) கண்ணுடி M_1-ன் மேல் பட்டு, இரண்டு பாகங்களாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. ஒரு பாகம் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் வில்லை L_3-யிஞல் இணையாக்கப்பட்டு M_2-வை நோக்கிச் செல்கின்றது. M_2-விஞல் வந்த பாதையிலேயே எதிரொளிக்கப்பட்டு மீண்டும் M_1-ஐ அடைகின்றது. இப்பொழுது M_1-ல் ஊடுருவி வில்லை L_4-ஆல் ஒரு ஒளிமின் குமிழ் P-ன் ஒளியுணர்வு படலத்தின்மீது குவிக்கப்படுகின்றது. அடுத்தப் பகுதி M_1-ன் வழியாக ஊடுருவிச் சென்று ஆடி M_3-ல் பட்டு எதிரொளிக்கப்பட்டு, ஆடிகள் M_4-லிருந்து M_6-வரை செல்கிறது. M_6-ன்மீது நேர்க்குத்தாகப் படும்படி அமைப்பு இருப்பதஞல் மீண்டும் வந்த பாதையிலேயே திருப்பப்பட்டு,

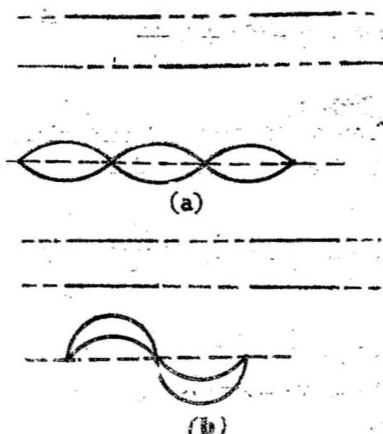


படம் 12.14. ஆன்டர்சன் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம்

M_1-ஐ அடைகின்றது. M_1-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு, வில்லை L_4-ஆல் இப்பகுதியும் ஒளிமின் குமிழ் P-யின் ஒளியுணர்வு படலத்தின் மீது குவிக்கப்படுகின்றது.

கெர்சிமிழ் K-யின் மின்வாய்களுக்கிடையே மிகு அதிர்வு கொண்ட மாறுமின்னழுத்தம் ஏற்படுத்தப்படுகின்றது. இதனால் அதன் வழியாகச் செல்லும் ஒளியானது நிலையானதொரு ஒளியூட்டத்தை மையமாகக்கொண்டு கூடுவதும் குறைவதுமாக மாறி மாறித் தோன்றுகின்றது. இவ்வாறு அமையும் ஒளியானது கெர்சிமிழிலிருந்து சென்று M_1-ல் பட்டு மேற்கூறியுள்ள முறையில் பிரிக்கப்பட்டு அவ்வவற்றின் பாதையில் சென்று மீண்டும் ஒளி மின்குமிழ் (Photo-cell) P-யை தனித்தனியாக அடைகின்றன. M_1-லிருந்து M_6-க்குச் சென்று மீளும் ஒளியின் நீண்ட பாதைக்கும் M_1-லிருந்து M_2-க்குச் சென்று மீளும் ஒளியின் பாதைக்குமிடையில் பாதை வேறுபாடொன்று அமைகின்றது. இதனால் அலைநீளங்களுக்கு

யிடையே கட்டவேறுபாடு படம் 12.15(a)-ல் உள்ளதுபோன்று ஒருங்கமைவற்றதாக (Out of phase) அமைய அவை ஒளிமின் குமிழில் ஏற்படுத்தும் ஒளிமின் ஓட்டம் (Photo electric current) சுழியமாக



படம் 12 15.

ஆன்டர்சன் முறையில் ஒளிபாதைகளுக்கிடையில் உண்டாகும் பாதை வேறுபாட்டினல் அமையும் கட்டவேறுபாடுகளைக் காட்டுகின்றது

(a) ஒருங்கமைவற்றது.

(b) ஒருங்கமைவானது.

இருக்கும். அவை சந்திக்கும்பொழுது 12.12(b)-ல் உள்ளவாறு கட்ட ஒருங்கமைவு ஏற்பட்டால் அதிக ஒளிமின் ஓட்டம் உண்டாகும்.

எனவே ஒருங்கமைவற்ற நிலையில் ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடு π ஆகும். எனவே பாதை வேறுபாடு, $(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$ என அரை அலைநீளத்தின் ஒற்றைப்படை முழு எண் பெருக்குத் தொகையாக இருக்கும். இந்நிலையை ஏற்படுத்த ஆடி M_2 சரிசெய்யப்பட்டு ஏற்படும் ஒளிமின் ஓட்டம் சுழியமாக்கப்படுகின்றது.

அடுத்து M_3-யிலிருந்து செல்லும் ஒளி, ஆடி M_4-க்குப் பதிலாக ஆடி M'_4-ல் நேர்க்குத்தாகப் படும்படி செய்யப்பட்டு மீண்டும் M_1-ஐ அடைகின்றது. இதனல் நீண்ட பாதையில் ஒளியானது ஆடிகள் M_5, M_6 ஆகியவற்றிற்குச் செல்லுவது தடுக்கப்பட்டு பாதை நீளம் குறைக்கப்படுகின்றது. இப்பொழுது ஆடி M_2-வின் நிலையை மாற்றி மீண்டும் ஒளிமின் குமிழில் ஏற்படும் மின்ஓட்டம் சுழியம் ஆக்கப்படுகின்றது. M_2-வின் இரண்டாவது நிலையை M_2' எனக் கொள்வோம்.

ஆடிகள் M_1, M_4 இரண்டிற்குமிடைப்பட்ட தூரத்தை x என்றும், M_4-க்கும் M_6-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை s என்றும், M_1-க்கும் M_2-க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை y என்றும் கொண்டால்,

$$2x+2s-2y=(2n+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (1)$$

என எழுதலாம்.

ஆடிகள் M_4-க்கும் M_4'க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை $\triangle s$ என்றும், M_2-க்கும் M'_2க்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை $\triangle y$ என்றும் கொண்டால்,

$$2x+2\triangle s-2y-2\triangle y=\frac{\lambda}{2} \qquad (2)$$

என எழுதலாம்.

சமன்பாடு (1)-லிருந்து (2)-ஐக் கழிக்க,

$$2s-2\triangle s+2\triangle y=n\lambda \qquad (3)$$

எனக் கிடைக்கும்.

இவ்வமைப்பில் $\triangle s$, $\triangle y$ இரண்டு மதிப்புகளும் நுண்திருகு அளவிகளின் மூலம், அளக்கப்படுகின்றன.

கெர்சிமிழில் இணைக்கப்பட்டுள்ள அலை இயற்றி ஏற்படுத்தும் அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கை விநாடிக்கு $19{\cdot}2\times10^3$ ஆகும். ஒளி அலைகளின் குழுத் திசைவேகம் (Group Velocity) u எனில்,

$$u=\frac{\lambda}{T} \text{ ஆகும்.} \quad V=n\lambda \quad n=\frac{1}{T}$$

இங்கு λ, T என்பவை முறையே கெர்சிமிழின் வழியாக வரும் திருத்தியமைக்கப்பட்ட அலையின் அலைநீளமும் அதிர்வு காலமும் ஆகும். எனவே, தோராயமான திசைவேகம் u-வைக்கொண்டு, தோராயமான λ மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். கிடைக்கும் λ மதிப்பை சமன்பாடு (3)-ல் பிரதியிட, n-ன் மதிப்பு கிடைக்கும். கிடைக்கும் மதிப்பு சரியான முழு எண்ணிலிருந்து சிறிதளவே வேறுபடும். எனவே n-ஐக் கண்டு சரியான முழு எண்ணைத் தீர்மானிக்கலாம். ஆன்டர்சனின் ஆய்வில் கிடைத்த n-ன் மதிப்பு 11 ஆகும். சமன்பாடு (3)-ல் மீண்டும் இந்த n-ன் மதிப்பை $(n=11)$ எனக்கொண்டு λ-வின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

அலையியற்றி விநாடிக்கு ஏற்படுத்தும் அதிர்வுகள் f எனில் $T=\frac{1}{f}$ ஆகும். எனவே, கிடைக்கும் λ, T மதிப்புகளை $u=\frac{\lambda}{T}$

என்னும் சமன்பாட்டில் பதிலீடுசெய்து, v-வின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். ஆண்டர்சன் ஆய்வின்படி வெற்றிடத்திற்குச் சரிசெய்யப்பட்ட ஒளியின் திசைவேகம்,

$$c = 2{,}99{,}776 \pm 6 \text{ கி.மீ./வினாடி ஆகும்.}$$

இம்முறையில் ஏற்படும் ஒரே குறைபாடு, ஒளிமின்குமிழ் செயல்படும் முறையில் ஏற்படுவதாகும். இரண்டு ஒளிக்கற்றைகளும் அவை உண்டாக்கும் எலக்ட்ரான்கள், ஒளிமின்குமிழின் நேர் மின்வாயை அடைவதினாலேயே உணரப்படுகின்றன. ஒளிமின் குமிழினுள் அவற்றின் பாதை ஒன்றிப்பாக இல்லையெனில், எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர்மின்வாய்க்கு எலக்ட்ரான்கள் செல்லும் காலத்தில் வேறுபாடுகள் ஏற்படும். ஆண்டர்சன் இக் குறைபாட்டினைத் தவிர்த்தல் மிகவும் கடினம் எனக் கருதினார்.

ஆனால் 1951-ல் பெர்க்ஸ்டிராண்டு (Bergstrand) இரு ஒளிக்கற்றைகளுக்குப் பதிலாக, ஒரு ஒளிக்கற்றையைப் பயன்படுத்தி ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டார். அவர் கணக்கிட்ட ஒளியின் திசைவேகம்,

$$c = 2{,}99{,}793 \pm 2 \text{ கி. மீ./வினாடி ஆகும்.}$$

12.11. இயற்பியலில் ஒளியின் திசைவேகத்தின் முக்கியத்துவம் :

ஒளியின் திசைவேகமானது, இயற்கையின் அமைவுகளினால் கிடைக்கும் பல முக்கியமான மாறிலி (Contant)-களில் ஒன்றாகும். இயற்பியலில் இந்த மாறிலி மிக முக்யத்துவம் வாய்ந்ததொன்றாகும். இயற்பியலின் பல பிரிவுகளில் ஒளியின் திசைவேக மதிப்பு எவ்வாறு பயன்படுகின்றது என்று காண்போம்.

(அ) மின்காந்த அலைகள் (Electromagnetic waves), ஒளியின் திசைவேகத்திலேயே பரவுகின்றன. எனவே அவற்றின் அதிர்வெண்களும் (n), அலைநீளங்களும் (λ),

$c = n\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டின்படி அமைகின்றன.

(ஆ) மின்காந்த அலகுகள் (Electromagnetic units), நிலை மின்னியல் அலகுகள் (Eleetrostatic units) ஆகிய இரண்டு வகை அளவியல் முறைகளிலும் அமையும், மின் ஓட்டம், (Current), மின் அழுத்தம் (Voltage) போன்றவற்றை அளக்கும், ஒத்த அலகுகளுக் கிடையேயுள்ள தொடர்புகள் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கொண்டு

(இ) சார்பியல் கொள்கை (Relativistic theory)-யின்படி, ஒளியின் திசைவேகத்துடன் ஒப்பிடக் கூடியதொரு திசைவேகத்துடன் இயங்கும் பொருளொன்றின் நிறை கூடுகின்றது. எனவே நிலையாக இருக்கும்பொழுது அதன் நிறையை m_0 என்றும் 'v' அளவு திசைவேகத்துடன் இயங்கும்பொழுது அதன் நிறையை m என்றும் கொண்டால், அவைகள்,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$ என்னும் சமன்பாட்டால்

இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இச்சமன்பாட்டிலிருந்து பொருளொன்று பெறக்கூடிய பெரும திசை வேகமானது ஒளியின் திசைவேக அளவுக்கு இருக்கலாம் என்பது தெளிவு. மேலும் ஒளியின் திசைவேகத்திற்கு அதிகமான திசைவேகத்தை எப்பொருளும் பெற இயலாது என்பதும் தெரிகின்றது.

(ஈ) சார்பியல் கொள்கையின்படி நிறை m-க்கும், ஆற்றல் E-க்கும் இடையே அவற்றை சரிசமனக்கும் வகையில் அமையும் $E=mc^2$ என்னும் ஐன்ஸ்டனின் (Einstein's) சமன்பாடு ஒளியின் திசைவேகம் c-யைக் கொண்டுள்ளது.

(உ) வெற்றிடத்தில் அமையும் ஒளியின் திசைவேகத்திற்கும் ஊடகமொன்றில் அமையும் ஒளியின் திசைவேகத்திற்கும் இடைப்பட்ட விகிதமானது, அந்த ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கொடுக்கின்றது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஃபீசோ முறையில் பயன்படும் பற்சக்கரத்தில் 720 பற்கள் உள்ளன. பற்சக்கரத்திற்கும், குழி ஆடிக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 8.6. கி. மீ. ஒளியின் திசைவேகம் 3×10^{10} செ. மீ./விநாடி எனில் முதல் மறைவுக்கு விநாடியொன்றுக்கு பற்சக்கரம் எத்தனை முறை சுழலுமெனக் கணக்கிடுக.

ஃபீசோ முறையில் முதல் மறைவுக்கு ஒளியின் திசைவேகம் c } $= 4\,Nn.D$

$c = 3 \times 10^{10}$ செ. மீ.

$N = 720$

$n = ?$

$$\therefore \quad n = \frac{c}{4ND}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{4 \times 720 \times 8.6}$$

$= 12.1$ சுற்றுக்கள்/வினாடி.

2. ஃபோகால்டின் ஆய்வொன்றில் 10 மீட்டர் வளைவு ஆரம் கொண்ட குழியாடி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு வில்லையிலிருந்து 5 மீட்டர் தொலைவிலும், சுழலும் ஆடி வில்லையிலிருந்து 4 மீட்டர் தொலைவிலும் உள்ளது. ஆடி வினாடிக்கு 450 சுழற்சிகளை ஏற்படுத்துகின்றது. ஒளியின் திசைவேகம் 3,00,000 கி. மீ./வினாடி எனில், படிவம் அடையும் இடப் பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடுக.

போகால்டின் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் c $\Big\} = \dfrac{8\pi an R^2}{(b+R)x}$

கணக்கின்படி, $c = 3,00,000$ கி. மீ.

$R = 10$ மீ.

$a = 5$ மீ.

$b = 4$ மீ.

$n = 450$

$x = ?$

$$\therefore \quad x = \frac{8\pi a n R^2}{c(b+R)}$$

$$= \frac{8\pi \times 5 \times 450 \times 10^2}{3 \times 10^8 (10+4)}$$

$= 0.001347$ மீட்டர்

$= 1.3$ மி. மீட்டர்

படிவ இடப்பெயர்ச்சி 1.3 மி. மீட்டர் ஆகும்.

3. கார்பன்-டை-சல்பைடு திரவத்தில் ஒளியானது ஒரு குறி

ஆகின்றது. கார்பன்-டை-சல்பைடின் ஒளிவிலகல் எண் 1.46 எனில் குறியீடு அமைந்துள்ள தொலைவினைக் கணக்கிடுக.

ஒளிவிலகல் எண் $\mu = \dfrac{c}{v}$

கணக்கின்படி $v = \dfrac{2d}{t}$

மேலும் $\mu = 1.46$

$c = 3 \times 10^8$ மீ.

$$\therefore \quad 1.46 = \frac{3 \times 10^8}{\dfrac{2 \times d}{0.5}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \times 0.5}{2d}$$

அல்லது $d = \dfrac{3 \times 10^8 \times 0.5}{2 \times 1.46}$ மீட்டர்கள்

$= 5136 \times 10^4$ மீட்டர்கள்

வினாக்கள்

1. ஃபீசோ முறையில் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் காணு தலைக் கொள்கையுடன் விளக்குக. ஆய்வைச் செய்வதில் ஏற்படும் முக்கியமான குறைபாடுகளைப்பற்றி விளக்கவும்.

2. போகால்ட்டின் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் காணுவ தெப்படி என்று விளக்குக. இம்முறையில் திரவமொன்றில் ஒளியின் திசைவேகத்தைத் தீர்மானிப்பது எப்படி என்று விவரி. கிடைக்கும் முடிவின் முக்கியத்துவத்தை விளக்குக.

3. மைக்கேல்சனின் சுழலும் ஆடிமுறையில் ஒளியின் திசை வேகத்தைக் காணுதலைப்பற்றி விவரிக்கவும். இம்முறை போகால்ட் முறையினின்று எவ்வாறு திருத்தியமைக்கப் பட்டுள்ளது ? வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் காண இம்முறை எவ்வாறு திருத்தியமைக்கப்பட்டது?

4. போகால்ட்டின் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் காண

ஒளியின் அலைக் கொள்கைக்கு ஆதரவாக அமைதலை விளக்குக.

5. கெர்சிமிழ் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம் தீர்மானித்தலை விளக்குக.

6. ஒளியின் திசைவேகம் காணப் பயன்படும் நவீன முறை யொன்றை கொள்கையுடன் விளக்குக.

7. ஒளியின் திசைவேகத்தின் முக்கியத்துவத்தைப்பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

8. குறிப்பு வரைக :

   (அ) மைக்கேல்சன் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம்.

   (ஆ) கெர்சிமிழ் முறையில் ஒளியின் திசைவேகம்.

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்

1. Fundamentals of Optics — Jenkins and White —McGraw Hill Book Co.

2. A Text book of Light — G. R. Noakes —Macmillan and Co Ltd.,

3. A Text book of Light — A. W. Barton —Longmans, Green & Co

4. A Treatise on Light — R. A. Houstoun —Longmans, Green & Co.

5. A Text book of Light — D. N. Vasudeva —Atma Ram & Sons, Delhi - 6.

6. Principles of Optics — B. K. Mathur —Gopal Printing Press, Kanpur.

7. Introduction to Geometrical and Physical Optics — Joseph Morgon —McGraw Hill Book Co.,

8. The Principles of Optics — Hardy and Perrin —McGraw Hill Book Co.

9. Optics — Bruno Rossi —Addison Wesley Pub. Co

10. ஒளியியல் — சண்முகசுந்தரம் & சபேசன் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

11. Colour Photography — Frank R. Newens —Blackie & Son Ltd., London.

12. Colour Fundamentals — Maitland Graves —McGraw Hill Book Co.

13. Colour in theory and Practice — H. D. Murray —Chapman & Hall Ltd.

14. Phase Microscopy — Alva H. Bennett and others —Chapman & Hall Ltd.

15. Photography to-day — D. A. Spencer, —Oxford University press.

16. Photography — C. E. Kenneth Mees —G. Bell & Sons Ltd.

17. An Introduction to Modern Optics — Ajoy K. Ghatak —Tata McGraw Hill Pub. Co., Bombay.

18. Fundamentals of Optical Engineering. — Donald H. Jacobs —McGraw Hill Book Co.,

19. Geometrical and Physical Optics — Longhurst Longmans, Green & Co.,

20. The Theory of Light — Preston —Macmillan Co.

கலைச்சொற்கள்

A

Aberration — பிறழ்ச்சி
Abbe's oil immersion objective — அபேயின் எண்ணெய் அமிழ்ப்புப் பொருளருகி
Absolute — சார்பிலா
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorption line — உட்கவர் வரி
Absorption Spectrum — உட்கவர் நிறமாலை
Accommodation of the eye — கண் தக அமைதல்
Achromatic Combination — நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இணைப்பு
Achromatic doublet — நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரட்டை
Achromatic objective — நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய பொருளருகி
Achromatic prism — நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய பட்டகம்
Additive process — கூட்டு முறை
Air, cell — காற்றுச் சிமிழ்
Algebraic sum — குறியியல் கூடுதல்
Amplitude — வீச்சு
Analytic sense — பகுத்துணரும் புலன்
Angle of Aberration — பிறழ்ச்சிக் கோணம்
Angle of dispersion — நிறப்பிரிகைக் கோணம்
Angle of emergence — விடுகோணம்
Angle of incidence — படுகோணம்
Angle of minimum deviation — சிறும திசை மாற்றக் கோணம்
Angle of reflection — எதிரொளிப்புக் கோணம்
Angle of refraction — விலக்குக் கோணம்
Angle of view — பார்வைக் கோணம்
Angstrom unit — ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு (ஆ. அ.)

Angular magnification — கோண உருப்பெருக்கம்
Annular eclipse — வளைவடிவக் கிரகணம்
Anomalous dispersion — முரணிய நிறப்பிரிகை
Aperture — திறப்பு; இடை இடம்
Aplanatic points — அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள்
Aplanatic surface — அப்ளநாட்டிக் பரப்பு
Assembly of lenses — வில்லைகளின் தொகுப்பு
Assumption — தற்கோள்
Astigmatism — அஸ்டிக்மேட்டிஸம்
Astronomical telescope — வானியல் தொலைநோக்கி
Axis of the lens — வில்லையின் அச்சு

B

Base — அடிப்பாகம்
Barrel distortion — பீப்பாய் உருக்குலைவு
Beam of light — ஒளிக்கற்றை
Bellows — துருத்தி
Brightness — பொலிவு
Bulb — குமிழ்

C

Canada Balsm — கனடா பால்சம
Candle Power — வத்தித்திறன்
Cardinal points — கார்டினல் புள்ளிகள்
Caustic curve — காஸ்டிக் வளைவு
Caustic surface — காஸ்டிக் புறப்பரப்பு
Cell — சிமிழ்
Chromatic aberration — நிறப் பிறழ்ச்சி
Circle of least Confusion — தெளிவு வட்டம்
Circular disc — வட்ட வட்டு
Clockwise — வலஞ்சுழியாக
Co-axilly — ஓரச்சாக
Coherent sources — ஓரியல் மூலங்கள்
Coiled-coil — சுருண்ட சுருள்
Collimator — இணையாக்கி
Colour — நிறம்
Colour distortion — நிற உருக்குலைவு
Colour mixture — நிறக் கலவை

Colour vision — நிறப் பார்வை
Coma — கோமா (அ) வால் நட்சத்திரக் குறைபாடு
Common axis — பொது அச்சு
Compensate — ஈடுசெய்வி
Complementary angle — நிரப்புக் கோணம்
Complementary colour — நிரப்பு நிறம்
Compound microscope — கூட்டு நுண்ணோக்கி
Concave lens — குழிவில்லை
Concave miniscus — குழிப்பிறை
Concave mirror — குழிஆடி
Concentric — ஒரு மைய
Condensing lens — குவி வில்லை
Conjugate foci — பரிமாற்றுக் குவியங்கள்
Conjugate points — பரிமாற்றுப் புள்ளிகள்
Conjugate positions — பரிமாற்று நிலைகள்
Contact printing — தொடுமுறை அச்சிடுதல்
Constant — மாறிலி
Constant deviation prism — திசையுறுப் பட்டகம்
Continuous spectrum — தொடர் நிறமாலை
Convention of signs — குறியீட்டு மரபு
Converging lens — குவி வில்லை
Convex miniscus — குவிப்பிறை
Corpuscle — துகள்
Corpuscular theory — துகட் கொள்கை
Crest — முகடு
Critical angle — மாறுநிலைக் கோணம்
Crossed lens — பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லை
Cross-wire — குறுக்குக் கம்பி
Crown glass — கிரவுன் கண்ணாடி
Cusp — வளைவிடம்

D

Defect — குறைபாடு
Defect of images — படிவக் குறைபாடுகள்
Definition — வரையறை
Deflection — விலக்கம்
Denser medium — அடர்மிகு ஊடகம்
Depth of focus — குவிய ஆழம்

Depth of field — புல ஆழம்
Developer — தோற்றுவிப்பான்
Deviated — திசைமாற்றமுற்ற
Deviation — திசைமாற்றம்
Diaphragm — துளைத்திரை
Dielectric — மின்கடத்தா
Diffraction — விளிம்பு விளைவு
Difference — வேறுபாடு
Differentiation — பகுனி
Dimension — பரிமாணம்
Dioptre — டைஆப்டர்
Direct vision prism — நேர்முகப் பார்வைப் பட்டகம்
Direct vision Spectroscope — நேர்முகப் பார்வை நிறமாலைமானி
Dispersion — நிறப்பிரிகை
Dispersive power — பிரிதிறன்
Distortion — உருக்குலைவு
Double refraction — இரட்டை ஒளிவிலக்கம்

E

Eclipse — கிரகணம்
Electromagnetic wave — மின்காந்த அலை
Ellipse — நீள்வட்டம்
Elliptically polarised light — நீள்வட்டத்தள விளைவுற்ற ஒளி
Enlarger — உருப்பெருக்கி
Epidiascope — எப்பிடயஸ்கோப்
Episcope — எபிஸ்கோப்
Equivalent lens — இணைமாற்று வில்லை
Equivalent focal length — இணைமாற்றுக் குவிய தூரம்
Erecting lens — நிமிர்த்தும் வில்லை
Exposure — ஒளித்திறப்பு
Extended object — நீண்ட பொருள்
Eye-piece — கண்ணருகி

F

Fading — மங்குதல்
Field of view — பார்வைப் புலம்
Field lens — புலவில்லை

Filament — இழை
Film — மெல்லிய ஏடு (அல்லது) மென் படலம்
Fixer — நிலைப்பாக்கி
Flint glass — ஃபிளின்ட் கண்ணாடி
Fluorescent iamp — ஒளிரும் விளக்கு
Flux — பாயம்
Focal lines — குவியக் கோடுகள்
Focal point — குவியப் புள்ளி
Fovea — போவியா
Fraunhofer lines — ஃபிரான் ஹோபர் வரிகள்
Frequency — அதிர்வு

G

Gauss points — காஸ் புள்ளிகள்
Gelatinum — ஜிலேட்டினம்
Geometric axis — வடிவியல் அச்சு
Geometric shadow — வடிவியல் நிழல்
Geometrical optics — வடிவியல் ஒளியியல்
Grazing incidence — தவழ்நிலைப் படுகை

H

Head light — முகப்பு விளக்கு
Homogeneous medium — ஒரு படித்தான ஊடகம்
Horizontal — கிடைமட்டம்
Hue — திறம் பகுத்தல்
Hyperbola — அதிபர வளையம்
Hypo — ஹைபோ (அ) சோடியம் தயோ சல்பேட்

I

Illuminating power — ஒளிவீசுத் திறன்
Illumination — ஒளியூட்டம்
Image space — படிவ வெளி
Incident ray — படு கதிர்
Indigo — கருநீலம்
Infinity — முடிவிலா

Infra-red — புறச் சிகப்பு
Inorganic chemistry — கனிமவேதியல்
Integral multiple — முழு எண் மடங்கு
Integration — தொகுனியாக்கம்
Interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
Interspace — இடைவெளி
Invisible region — கண்ணுறு பகுதி
Isotropic — திசையொப்புப் பண்பியலான

J

Jolly's photometer — ஜாலியின் ஒளிமானி
Jupiter — வியாழன்

K

Kerr cell — கெர் சிமிழ்
Kinetie energy — இயக்க ஆற்றல்

L

Latent image — உள்ளுறை படிவம்
Lateral — இடவலமான
Lateral displacement — பக்கப் பெயர்ச்சி
Lateral magnification — குறுக்கு உருப்பெருக்கம்
Least distance of distinct vision — மீச்சிறு தெளிவுப் பார்வை தொலைவு
Lens — வில்லை
Lens system — வில்லைத் தொகுப்பு
Levelling screw — சரிமட்டத் திருகாணி
Lever — நெம்புகோல்
Light filter — ஒளிவடிப்பான்
Light sources — ஒளிமூலங்கள்
Linear magnification — நீட்ட உருப்பெருக்கம்
Liquid lens — திரவ வில்லை
Locus — நியமப் பாதை
Longitudinal magnification — நீளவாகு உருப்பெருக்கம்
Lumen — லூமென்
Luminous flux — ஒளிவிளக்கப் பாயம்
Luminous intensity — ஒளிவிளக்கச் செறிவு
Lunar eclipse — சந்திர கிரகணம்

M

Magic lantern — மாய வீழ்த்தி
Magnification — உருப்பெருக்கம்
Major axis — பேரச்சு
Mantle — எரிச்சட்டை
Marginal ray — ஓரக்கதிர்
Maximum — பெருமம்
Medium — ஊடகம்
Mercury vapour lamp — பாதரச ஆவி விளக்கு
Metre-candle — மீட்டர் வத்தி
Microscope — நுண்ணோக்கி
Minimum — சிறுமம்
Minor-axis — சிற்றச்சு
Modulation — அலைப்பண்பேற்றம்
Monochromatic light — ஒற்றை நிற ஒளி
Monochromatic source — ஒற்றை நிற ஒளிமூலம்
Multiple reflection — பன்முக எதிரொளிப்பு

N

Negative — எதிர்; எதிர்ப் பதிவு
Nicol prism — நைக்கல் பட்டகம்
Nodal points — அதிர்விலாப் புள்ளிகள்
Normal — நேர்க்குத்துக் கோடு
Normal dispersion — இயல்பு நிறப்பிரிகை

O

Objective — பொருளருகி
Object space — பொருள் வெளி
Oblique incidence — சாய்வுப் படுகை
Oblique incidence pencil — சாய்வுக் கூம்புக் கற்றை
Opaque — ஒளிப்புகா
Optic axis — ஒளி அச்சு
Optic bench — ஒளியியல் அளவுச் சட்டம்
Optic centre — ஒளியியல் மையம்
Optic lever — ஒளியியல் நெம்புகோல்
Optical path — ஒளிப்பாதை
Origin — தோற்றுவாய்
Oscillation — அலைவு

Overlapping — மேற்பொருந்துதல்
Overtone — மேற்சுரம்

P

Parabola — பரவளையம்
Parabolic mirror — பரவளைய ஆடி
Paraxial rays — அச்சிணைக் கதிர்கள்
Parallax — இடமாறுத் தோற்றம்
Path difference — பாதை வேறுபாடு
Pencil of light — கூம்பு ஒளிக் கற்றை
Pentane lamp — பென்டேன் விளக்கு
Penumbra — புற நிழல்
Perpendicular — செங்குத்துக் கோடு
Persistance of vision — பார்வை நீட்டிப்பு
Phase — கட்டம்
Phase change — கட்டமாற்றம்
Phase contract microscope — கட்டவேறுபாடு நுண்ணோக்கி
Photo electricity — ஒளிமின்னியல்
Photo electric effect — ஒளிமின் விளைவு
Photography — ஒளிப்படவியல்
Photographic emulsion — ஒளியுணர்வுப் பசை
Photographic film — படச் சுருள்
Photographie plate — ஒளிப்படத் தகடு
Photometer — ஒளிமானி
Photometry — ஒளி அளவியல்
Photo sensitivity — ஒளி உணர்திறன்
Physical optics — இயற்பியல் ஒளியியல்
Physical society — இயற்பியல் கழகம்
Pigment — நிறங்கொண்ட பொருள்
Pin-cushion Distortion — குண்டூசி மெத்தை உருக்குலைவு
Plane of incidence — படுதளம்
Plane mirror — சமதள ஆடி
Point image — புள்ளிப் படிவம்
Point object — புள்ளிப் பொருள்
Polarisation — தள விளைவு
Polarised light — தளவிளைவுற்ற ஒளி
Pole of the mirror — ஆடி மையம்
Positive — நேர்

Potential energy — நிலை ஆற்றல்
Power of the lens — வில்லைத் திறன்
Primary colours — மூல நிறங்கள்
Primary Rainbow — முதல் நிலை வானவில்
Primary Standard — மூலப் படித்தரம்
Principle — கோட்பாடு; தத்துவம்
Principle of reversibility — நேர்-எதிர் பண்பின் தத்துவம்
Principal focus — முதன்மைக் குவியம்
Principal maximum — முக்கியப் பெருமம்
Principal plane — முதன்மைத் தளம்
Principal points — முதன்மைப் புள்ளிகள்
Prlncipal Section — முக்கியப் பகுதி
Print — நேர்ப் பதிவு; அச்சு
Prism table — பட்டக மேடை
Projector lens — வீழ்த்தி வில்லை
Propagation — பரப்பல்

Q

Quantum Optics — குவாண்டம் ஒளியியல்
Quality — பண்பு

R

Radius of Curvature — வளைவு ஆரம்
Rainbow — வானவில்
Range — நெடுக்கம்
Rarer medium — அடர்குறை ஊடகம்
Rays — கதிர்கள்
Real image — உண்மைப் படிவம்
Recording — பதிவு செய்தல்
Rectilineer propagation — நேர்கோட்டுப் பரவல்
Reflection — எதிரொளிப்பு
Refraction — ஒளிவிலகல்
Refracting angle — ஒளிவிலக்குக் கோணம்
Refracting edge — ஒளிவிலகல் விளிம்பு
Refractive Index — ஒளிவிலகல் எண்
Relative aperture — சார்புத் திறப்பு
Resolving power — பகுதிறன்
Restrainer — செயலடக்கி

T

Tangent — தொடுகோடு
Tangential — தொடுவியலான
Tangential Screw — தொடுவியல் திருகு
Tarquoise colour — டார்குவாஸ் நிறம்
Telephoto — தொலைப்படம்
Telephoto Camera — தொலைப்படக் காமிரா
Telephoto lens — தொலைப்பட வில்லை
Telescope — தொலைநோக்கி
Telescope objective — தொலைநோக்கியின் பொருளருகி
Thick lens — தடிம வில்லை
Thickness — தடிமம்
Thin film — மென்படலம்
Thin lens — மென்வில்லை
Thin prism — மென் பட்டகம்
Total reflection prism முழு எதிரொளிப்புப் பட்டகம்
Total reflection — முழு எதிரொளிப்பு
Transluscent object — ஒளிக்கசியும் பொருள்
Transmission — செலுத்துகை
Transperent material — ஒளிபுகும் பொருள்
Transverse Spherical aberration — குறுக்குக் கோளப் பிறழ்ச்சி
Transverse waves — குறுக்கலைகள்
Trough — சிறுதொட்டி
Turn table — சுழல் மேடை

U

Ultraviolet — புற ஊதா
Umbra — அக நிழல்
Unsaturated — தெவிட்டலற்ற
Unity — ஓரலகு

V

Vacuum — வெற்றிடம்
Virtual image — மாயப்படிவம்
Virtual object — மாயப்பொருள்
Virtual Source — மாய ஒளிமூலம்

Retina — விழித்திரை
Rods — தண்டுகள்
Rotation — சுழற்சி

S

Satellite — துணைக்கோள்
Saturate — தெவிட்டிய
Scattering of light — ஒளிச் சிதறல்
Secondary Rainbow — இரண்டாம் நிலை வானவில்
Selenium — செலினியம்
Self-luminous — தன் ஒளி படைத்த
Sensitiveness — உணர் நுட்பம்
Sextant — செக்ஸ்டன்ட்
Shadow — நிழல்
Shunt — இணைத்தடை
Sign convention — குறியீட்டு மரபு
Simple harmonic motion — சீரிசை இயக்கம்
Simple microscope — தனி நுண்ணோக்கி
Sodium vapour lamp — சோடியம் ஆவிவிளக்கு
Solar eclipse — சூரியக் கிரகணம்
Solar system — ஞாயிற்றுக் குடும்பம்
Solid angle — திண்மைக் கோணம்
Space — வெளி
Spectrograph — நிறமாலை வரைவி
Spectrometer — நிறமாலை மானி
Spectrum — நிறமாலை
Sphere — கோளம்
Spherical aberration — கோளப் பிறழ்ச்சி
Spheroid — நீள்கோளம்
Spirit level — இரசமட்டம்
Standard — படித்தரம்
Stimulus — கிளர்வு
Stop — தடுப்பு
Substitute — பதிலீடு செய்
Substractive Method — நீக்க முறை
Successive — அடுத்தடுத்த
Surface of least Confusion — தெளிவுப் பரப்பு
Surface of Seperation — பிரிதளம்
Synthetic sense — தொகுத்துணரும் புலன்

Visible	—	புலனாகும்
Visible region	—	கண்ணுறுப் பகுதி
Vision	—	பார்வை

W

Wave-length	—	அலை நீளம்
Wave motion	—	அலை இயக்கம்
Wave theory	—	அலைக் கொள்கை
Wide angle lens	—	அதிகோண வில்லை

Z

Zero	—	சுழி
Zone	—	மண்டிலம்

